UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia
Programa de Pós-graduação em Geografia

Diego Alves de Oliveira

"WETLAND" COMO UNIDADE HIDROGEOMORFOLÓGICA NO CONTEXTO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E O SEMIÁRIDO MINEIRO: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros - MG

Belo Horizonte
2021

Diego Alves de Oliveira

“WETLAND” COMO UNIDADE HIDROGEOMORFOLÓGICA NO CONTEXTO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E O SEMIÁRIDO MINEIRO: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros - MG

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental

Linha de pesquisa: Geografia Física

Orientadora: Professora Doutora Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin

Coorientadora: Professora Doutora Cristina Persano

Belo Horizonte
2021

O48w 2021

Oliveira, Diego Alves de.
"Wetland" como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre o cerrado e o semiárido mineiro [manuscrito] : análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do Rio Pandeiros - MG / Diego Alves de Oliveira. – 2021.
418 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin.
Coorientadora: Cristina Persano.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Geografia, 2021.
Área de concentração: Análise Ambiental.
Linha de Pesquisa: Análise Ambiental.
Bibliografia: f. 373-388.
Inclui apêndices.

1. Geomorfologia – Minas Gerais – Teses. 2. Hidrologia – Minas Gerais – Teses. 3. Terras inundáveis – Conservação – Minas Gerais – Teses.. I. Augustin, Cristina Helena Ribeiro Rocha. II. Persano, Cristina. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Geografia. IV Título.

CDU: 551.4(815.1)

Ficha catalográfica elaborada por Graciane Aparecida de Paula – CRB6 3404

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

"WETLAND" COMO UNIDADE HIDROGEOMORFOLÓGICA NO CONTEXTO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E O SEMIÁRIDO MINEIRO: ANÁLISE DA DINÂMICA DO PANTANAL DA BACIA DE DRENAGEM DO RIO PANDEIROS - MG

DIEGO ALVES DE OLIVEIRA

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Doutor em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 02 de setembro de 2019, pela banca constituída pelos membros:

Prof(a). Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin - Orientador
UFMG

Prof(a). Antonio Pereira Magalhaes Junior
UFMG

Prof(a). Rubens Martins Moreira
Program de Pós-Graduação-CDTN

Prof(a). Waldemir Lima dos Santos
Universidade Federal do Acre

Prof(a). Karla Maria Silva de Faria
UFG

Prof(a). Braulio Magalhães Fonseca
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 5 de setembro de 2019.

À minha filha, Sofia;
À minha esposa, Cíntia;

AGRADECIMENTOS

O fim desta jornada representa uma conquista pessoal, que seria impossível sem o sacrifício, amizade, confiança, solidariedade, colaboração, amor e até mesmo a dúvida de várias pessoas que compartilharam determinados momentos dessa jornada. Estas são razões suficientes para agradecer:

Primeiramente, à minha família, que inúmeras vezes marcada pela ausência, me impulsionou para buscar cada vez mais. Peço desculpas pelas inúmeras ausências à minha filha, esposa, pais, irmão, avós Maria Barbosa (*in memoriam*), Maria Rosa e Jerônimo (*in memoriam*) e tia Janete (*in memoriam*) pois mesmo quando não havia outros recursos para ajudar, sempre me proporcionaram liberdade e oportunidade para lutar pelos meus sonhos;

À minha orientadora, Professora Cristina Augustin, que sempre confiou e me orientou a trabalhar, com base em seu conhecimento e experiência, visando o desenvolvimento da Ciência para melhorar a sociedade brasileira. Muito obrigado por todo o aprendizado, que foi muito além da pesquisa;

Aos meus Professores, que desde o ensino fundamental na Escola Estadual Padre César, passando pelo ensino médio na Escola Estadual Professor Vicente Lopes Perez, pela graduação em Direito na Universidade de Uberaba, na graduação em Geografia na Universidade Federal de Uberlândia, no Mestrado, com a Professora Vânia Rosolen e ainda no Doutorado, sempre foram inspirações para minha vida, iluminação para meu caminho e alicerces para a construção do meu presente, que me tornaram o que sou hoje. Não tenho como agradecer a contribuição que a educação realizou em minha vida além do que buscar ser um Professor que almeje a multiplicação deste poder emancipatório;

Aos velhos habitantes do Pantanal do rio Pandeiros, principalmente Seu Pedro Neves, Seu Geraldo da Dona Bia, Seu Antônio Preto, Vicente Guedes, Seu Zé Goiano e Gilson da Fazenda AGROPOP, e muitos outros, pois são especialistas, pelo conhecimento do senso comum, sobre esta *wetland*, em sua linguagem peculiar. Como já ensinou Guimarães Rosa, eles são agentes mais indicados para promover um uso sustentável destas áreas e muitas vezes me encorajaram e me guiaram por caminhos desconhecidos para descobrir o Pantanal. Sem ouvi-los, esta pesquisa não teria alcançado todos os resultados;

Aos Professores colegas do Instituto Federal de Minas Gerais, Campus Betim e Campus Ouro Preto, que me apoiaram nesta jornada, nas aulas, nas atividades, nas perspectivas de futuro e com ideias e materiais para desenvolvimento da pesquisa, em especial as Professoras Elizêne, Flávia, Isabel, Lucas, Leonardo e Marcela;

Ao técnico do Laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG, Fernando, aos colegas de Pós-Graduação, Arnon, Walter, Henrique, que estiveram presentes e colaboraram no caminho, com os quais aprendi muito e aos estudantes de graduação: Gilberto, que me ajudou com as análises, Dayane e Shirley que também colaboraram durante vários momentos;

Aos Professores da UFMG que contribuíram muito durante minha vivência nesta Universidade, Professor Paulo Aranha que colaborou muito com a minha formação, sempre disposto a auxiliar e ensinar e ao Professor Bráulio que me ensinou muito sobre as ferramentas de análise geomorfológica e colaborou na realização de vários trabalhos de campo;

Aos Professores do CDNT, que também colaboraram muito meu aprendizado e experiências de pesquisa, como o Professor Rubens, pelas imensas contribuições no Exame de Qualificação, pelo exemplo de disponibilidade com a pesquisa e para me ensinar sobre as análises isotópicas, demonstrando ser um Professor-Pesquisador incrível. Ao Professor Jefferson pelas conversas e compartilhamento de experiências, e ao técnico Cláudio Chagas que colaborou em vários momentos para a realização dos trabalhos de campo;

À Professora Raquel Cassino, da UFOP, que me orientou e colaborou na coleta e preparação das amostras para análise de ^{14}C e ao Professor Leonardo Cristian da UFSJ, pelas análises granulométricas destas amostras;

Aos Professores Leila Nunes Menegasse Velásquez e Carlos Henrique Jardim do IGC/UFMG pelas contribuições no Exame de Qualificação, realizado em abril de 2018;

Ao Professor Roberto Rosa, da UFU, pelo compartilhamento do seu conhecimento em sensoriamento remoto para analisar a área de estudo;

À Professora Cristina Persano, coorientadora, da Universidade de Glasgow, pelo apoio enquanto lá estive como bolsista sanduíche e pelo e aperfeiçoamento da proposta do doutorado, bem como ao Professor Trevor Hoey, por suas orientações e auxílio nas análises hidrológicas;

Ao Dr. Tom Dargie, pelo auxílio em campo, empréstimo de piezômetros e à sua esposa, Mônica, por ter recebido minha família e eu em Dornock de maneira tão acolhedora; por seus ensinamentos em campo e pelo auxílio nas análises preliminares de dados do Pantanal do rio Pandeiros;

À Professora Rosa Greaves, Dean para a América Latina na Universidade de Glasgow pelo apoio enquanto estivemos, eu e minha família, na Universidade de Glasgow, na Escócia;

Ao Dr. Daniel Bezerra, a colaboração com a análise dos resultados de ^{10}Be e ajuda para o cálculo de desnudação média por bacia, além do apoio antes e durante meu período em Glasgow. À Charlotte Slaymark, técnica da UofG, por me ajudar e orientar no processo de preparação de amostras para análise de ^{14}C.

Ao Dr. Derek Fabel e à Dra. Philippa Ascough do SUERC que me ensinaram, colaboraram e contribuíram para minha formação durante a pesquisa em Glasgow. Muito obrigado também à Maria Miguens-Rodriguez, técnica do SUERC, que me acompanhou na preparação das amostras de ^{10}Be e contribuiu com meu conhecimento em prática laboratorial.

Por fim, agradeço a oportunidade de ter aprendido que a Ciência pode ser realizada de modo colaborativo entre excelentes pesquisadores e com boa qualidade, visando mudar o mundo.

Constança meu bem, Constança,
Constante sempre serei,
Constante até a morte,
Constante eu morrerei.
(Constança. Hoje é dia de Maria, 2005).

RESUMO

O Pantanal do rio Pandeiros (PRP), localizado na região Norte de Minas Gerais, Brasil, é uma importante *wetland* para a bacia do rio São Francisco contribuindo parcialmente com o aprisionamento de carbono e contenção de sedimentos transportados para o rio São Francisco, que, de outra maneira, contribuiriam para o seu assoreamento. Resultante da interação entre vários fatores como a geologia, geomorfologia e variações climáticas em região de transição de uma área tropical úmida para o semiárido, sua principal fonte de umidade são as monções que ocorrem na América do Sul, as quais possibilitam a ocorrência dos pulsos de inundação, alterando temporariamente seus níveis de base e permitindo a inundação das *wetlands*, demonstrando a importância de sua análise por meio de uma abordagem hidrogeomorfológica. O objetivo principal da pesquisa é o de compreender a dinâmica desta *wetland* como unidade hidrogeomorfológica e não apenas ecossistêmica, como normalmente ocorre na literatura. Foram realizadas análises dos pulsos de inundação com o uso de dados de estações fluviométricas e climatológicas instaladas no PRP, os quais apresentaram variações cíclicas no aporte de umidade. Os resultados indicam que nos últimos anos, foi registrada uma redução no nível do rio São Francisco e na vazão do rio Pandeiros implicando em uma redução das inundações do PRP em todos os aspectos investigados: duração, frequência, intensidade e magnitude, principalmente a partir da década de 1990. A alteração do nível de base, neste caso o nível do rio São Francisco na foz do rio Pandeiros, é fator importante pois por meio de análise de Modelos Digitais de Elevação com resolução de 12,5 m foi possível identificar que a *wetland* é topograficamente uma depressão cuja altitude é em grande parte, similar à do canal do rio São Francisco, o que implica em inundações muito mais longitudinais do que laterais no PRP. Foram aplicadas técnicas para caracterização da assinatura geoquímica da água superficial como: pH, alcalinidade, condutividade elétrica (CE), sólidos totais dissolvidos, turbidez, sílica e análise em ICP, que revelou abundância de cálcio e magnésio dissolvidos. A dinâmica de circulação da água com o uso de traçadores isotópicos ^{2}H e ^{18}O demonstrou as interações que ocorrem na foz do rio Pandeiros durante as diferentes fases da inundação. O monitoramento longitudinal do nível da água ao longo da área do PRP foi realizado com o monitoramento de 5 piezômetros cujos dados, analisados em conjunto às outras técnicas, indicaram a existência de quatro diferentes subunidades hidrogeomorfológicas no interior do PRP. Em cada uma destas, foram realizadas amostragens das geocoberturas superficiais, submetidas às análises laboratoriais de granulometria, pH, CE, carbono orgânico (CO), sódio, potássio, alumínio, ferro, cálcio e magnésio que também apresentam variação lateral e principalmente longitudinal ao longo do PRP. Subsuperficialmente, por meio do uso de *ground penetrating radar*, foi identificada a predominância de camadas horizontalizadas; contudo, a partir de 3-4 m de profundidade, há a ocorrência de diversos paleocanais e seixos angulosos, indicando ambiente de alta energia no período da deposição. Ainda foi analisada a dinâmica de desnudação da bacia do rio Pandeiros, através do uso do ^{10}Be, com a estimativa da perda média de material alterado por milhão de anos (Ma) em quatro pontos da bacia, indicando um grande aporte de sedimentos oriundos da escarpa de dissecação das chapadas que contornam boa parte da bacia do rio Pandeiros foram, e continuam sendo direcionados para o PRP. Também foram datados sedimentos orgânicos, a 150 cm de profundidade, por meio do ^{14}C (TPM), que apresentaram idades de até 3.246 anos A.P. e deposição em um ambiente paleoclimático muito úmido, relativamente constante, como indicou a composição isotópica de ^{13}C. Os resultados indicam que esta *wetland* é dependente de condições multiescalares, em uma complexa dinâmica hidrogeomorfológica, em uma situação de equilíbrio ambiental sutil.

Palavras-chave: Áreas úmidas. Hidrogeomorfologia. Pantanal do rio Pandeiros. Bacia do rio Pandeiros. Rio São Francisco.

ABSTRACT

The Pantanal of Pandeiros River (PRP), located in the northern region of Minas Gerais, Brazil, is an important wetland for the São Francisco River watershed, partially contributing to carbon trapping and containment of sediments transported to the São Francisco River, which, otherwise, they would contribute to silting. Resulting from the interaction between several factors such as geology, geomorphology, and climatic variations in a transition region from a humid tropical area to the semiarid region, its main source of moisture is the monsoons that occur in South America, which enable the occurrence of flood pulses, temporarily changing its base levels and allowing the flooding of wetlands, demonstrating the importance of its analysis through a hydrogeomorphological approach. The main objective of the research is to understand the dynamics of this wetland as a hydrogeomorphological unit and not just an ecosystem, as it usually occurs in the literature. Analysis of flood pulses was performed using data from fluviometric and climatological stations installed in the PRP, which showed cyclical variations in the moisture supply. The results indicate that in recent years, a reduction in the level of the São Francisco River and the flow of the Pandeiros river was registered, implying a reduction in the PRP flooding in all aspects investigated: duration, frequency, intensity, and magnitude, mainly from the 1990s. The change in the base level, in this case, the level of the São Francisco River at the mouth of the Pandeiros river, is an important factor because through the analysis of Digital Elevation Models with a resolution of 12.5 m it was possible to identify that the wetland is topographically a depression whose altitude is largely like that of the São Francisco River channel, which implies in flooding much more longitudinal than lateral in the PRP. Techniques were applied to characterize the geochemical signature of surface water, such as pH, alkalinity, electrical conductivity (EC), total dissolved solids, turbidity, silica, and ICP analysis, which revealed an abundance of dissolved calcium and magnesium. The dynamics of water circulation using ^{2}H and ^{18}O isotopic tracers demonstrated the interactions that occur at the mouth of the Pandeiros river during the different phases of flooding. The longitudinal monitoring of the water level along the PRP area was carried out with the monitoring of 5 piezometers whose data, analysed together with the other techniques, indicated the existence of four different hydrogeomorphological units within the PRP. In each of these, samples were taken from the regolith, submitted to laboratory analysis of particle size, pH, EC, organic carbon (CO), sodium, potassium, aluminium, iron, calcium, and magnesium, which also show lateral and mainly longitudinal variation along of the PRP. Subsurface, using ground penetrating radar, the predominance of horizontal layers was identified; however, from 3 - 4 m deep, there are several paleochannels and angular pebbles, indicating a high energy environment during the deposition period. The denudation dynamics of the Pandeiros river watershed was also analysed, using ^{10}Be, with an estimate of the average loss of altered material per million years (Ma) in four points of the basin, indicating a large contribution of sediments from the escarpment of dissection of the chapadas that surround a good part of the Pandeiros river watershed and that were, and continue to be, directed to the PRP. Organic sediments at 150 cm depth were also dated using ^{14}C (TPM), which showed ages of up to 3,246 years A.P. and deposition in a very humid, relatively constant paleoclimatic environment, as indicated by the ^{13}C isotopic composition. The results indicate that this wetland is dependent on multiscale conditions, in a complex hydrogeomorphological dynamic, in a situation of subtle environmental equilibrium.

Keywords: Wetlands. Hydrogeomorphology. Pandeiros River wetland. Pandeiros River watershed. São Francisco River.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS. 37

FIGURA 2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PANDEIROS EM RELAÇÃO AO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. 39

FIGURA 3 - MAPA DA COBERTURA LITOLÓGICA DA BACIA DO RIO PANDEIROS. 45

FIGURA 4 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PANDEIROS EM RELAÇÃO AOS BIOMAS BRASILEIROS DO SEU ENTORNO. 47

FIGURA 5 - INTERAÇÕES ENTRE A HIDROLOGIA, GEOMORFOLOGIA E HIDROGEOMORFOLOGIA. 52

FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *WETLAND*S. 54

FIGURA 7 - MAIORES *WETLAND*S, CONSIDERANDO SUA EXTENSÃO, NA PORÇÃO CENTRAL E NORTE DA AMÉRICA DO SUL. 55

FIGURA 8 - EXEMPLO DE LOCALIZAÇÃO DE UMA *WETLAND* ENTRE ÁREA DRENADA E ÁREA INUNDADA. 60

FIGURA 9 - COMPONENTES PRINCIPAIS DE UMA *WETLAND*. 62

FIGURA 10 - ORGANOGRAMA DA TESE. 77

FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NA PESQUISA DO PRP. 85

FIGURA 12 - MAPA GERAL DE AMOSTRAGEM DA TESE. 88

FIGURA 13 - DIFERENÇAS NAS MARGENS DO RIO PANDEIROS AO LONGO DO PRP. 90

FIGURA 14 - FOTOGRAFIAS DOS LOCAIS DE COLETA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE ^{10}BE. 92

FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DA COLETA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE ^{10}BE NA BACIA DO RIO PANDEIROS. 93

FIGURA 16 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE COLETA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DA ÁGUA SUPERFICIAL NA BACIA DO RIO PANDEIROS, INCLUINDO NO PANTANAL E NO RIO SÃO FRANCISCO. 94

FIGURA 17 - COLETAS DE AMOSTRA DE ÁGUA REALIZADAS EM 10 DE FEVEREIRO DE 2017 (ESQUERDA) E EM 2 DE OUTUBRO DE 2017 (DIREITA). 96

FIGURA 18 - LOCALIZAÇÃO DA COLETA DE AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE ^{2}H E ^{18}O NA BACIA DO RIO PANDEIROS, NO PRP E NO RIO SÃO FRANCISCO DURANTE OS PULSOS DE INUNDAÇÃO EM FEVEREIRO E MARÇO DE 2018. 97

FIGURA 19 - LOCAIS DE INSTALAÇÃO DOS PIEZÔMETROS NO PRP. 100

FIGURA 20 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PIEZÔMETROS NAS SUBUNIDADES DO PRP. 101

FIGURA 21 - LOCALIZAÇÃO DOS TRANSECTOS AMOSTRADOS NO PRP. 105

FIGURA 22 - AQUISIÇÃO DE DADOS DE GPR NO PRP. 106

FIGURA 23 - LOCAL DA AQUISIÇÃO DE DADOS DE TRANSECTOS DE GPR E DE ELETRORRESISTIVIDADE NO PRP. 108

FIGURA 24 - POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS NO MOMENTO DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA ELETRORRESISTIVIDADE, QUANDO A LAGOA DO SAPUTÁ AINDA ESTAVA INUNDADA, EM MAIO DE 2019. 109

FIGURA 25 - OPERAÇÃO DO TRADO MECÂNICO PARA COLETA DE GEOCOBERTURA EM PROFUNDIDADE. 110

FIGURA 26 - MOMENTO DA RETIRADA DO TESTEMUNHADOR DA LAGOA DO JATOBÁ. 112

FIGURA 27 - LOCAL DE COLETA DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE ^{14}C. 112

FIGURA 28 - IMAGENS DE SATÉLITE E FOTOGRAFIAS DAS ÁREAS DE AMOSTRAGEM PARA ^{14}C. 114

FIGURA 29 - FOTOGRAFIA DE 2 ETAPAS DA ETAPA DE CROMATOGRAFIA PARA PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ^{10}BE. 118

FIGURA 30 - FOTOGRAFIA DO PROCESSO DE SEPARAÇÃO DA FRAÇÃO MINERAL DA FRAÇÃO ORGÂNICA DAS AMOSTRAS PARA DATAÇÃO DE ^{14}C. 125

FIGURA 31 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO MEDIDOR DE NÍVEL DA ÁGUA UTILIZADO. 134

FIGURA 32 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DO ENTORNO 1 E ENTORNO 2, QUE FORAM UTILIZADAS PARA COMPLEMENTAR A ANÁLISE DOS PIEZÔMETROS. 136

FIGURA 33 - EXEMPLO DE FASES DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS DE RADARGRAMA. 141

FIGURA 34 - ANALISADOR DE PARTÍCULAS PARA ENSAIO DE GRANULOMETRIA A LASER. 142

FIGURA 35 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS PARA ANÁLISE DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO DO ENTORNO DA BACIA DO RIO PANDEIROS E INTERPOLAÇÃO DOS VALORES MÉDIOS DE PRECIPITAÇÃO ANUAL DAS ESTAÇÕES ANALISADAS. 144

FIGURA 36 - CARACTERIZAÇÃO DA TEMPERATURA E DA PRECIPITAÇÃO DO ENTORNO DA BACIA DO RIO PANDEIROS. 146

FIGURA 37 - MAPA HIPSOMÉTRICO DA REGIÃO DO ENTORNO DA BACIA DO RIO PANDEIROS. 148

FIGURA 38 - MAPA DOS DOMÍNIOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA DO RIO PANDEIROS. 150

FIGURA 39 - UMA DAS CACHOEIRAS DO RIO PANDEIROS LOCALIZADA NA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA ÁREAS COM MEDIANA DISSECAÇÃO E DINÂMICA, LOGO A MONTANTE DO PRP. 152

FIGURA 40 - MAPAS ÍNDICE DE HACK E ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DE RUGOSIDADE UTILIZADOS NO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PANDEIROS. DESTAQUE PARA A TRANSIÇÃO DE AMBIENTES E ENERGIA A MONTANTE DO PRP. 153

FIGURA 41 - TAXAS DE DESNUDAÇÃO MÉDIA NA BACIA E SUB-BACIAS DO RIO PANDEIROS. . 155

FIGURA 42 - VAZÃO MÉDIA AO LONGO DO ANO HIDROLÓGICO DO RIO PANDEIROS À MONTANTE DO PRP. 158

FIGURA 43 - PERCENTIL DA VAZÃO MÉDIA DO RIO PANDEIROS À MONTANTE DO PRP. 159

FIGURA 44 - VAZÃO DIÁRIA DO RIO PANDEIROS À MONTANTE DO PRP, DE 1974 A 2018. 161

FIGURA 45 - VAZÃO MÉDIA, MÁXIMA E MÍNIMA MENSAL DE 1974 A 2018 DO RIO PANDEIROS À MONTANTE DO PRP. 161

FIGURA 46 - MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA DA VAZÃO DO RIO PANDEIROS À MONTANTE DO PRP (ACIMA) E *SEASONAL TREND DECOMPOSITION* DOS DADOS DE VAZÃO DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DA PCH DO RIO PANDEIROS (ABAIXO). 164

FIGURA 47 - FOZ DO RIO PANDEIROS EM DIFERENTES COTAS DO RIO SÃO FRANCISCO, ALTERADAS TEMPORARIAMENTE EM DIFERENTES MOMENTOS, A DEPENDER DE VARIAÇÕES HIDROLÓGICAS AO LONGO DO ANO HIDROLÓGICO. 166

FIGURA 48 - NÍVEL MÉDIO AO LONGO DO ANO HIDROLÓGICO DO RIO SÃO FRANCISCO NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE SÃO FRANCISCO. 167

FIGURA 49 - PERCENTIL DO NÍVEL MÉDIO DO RIO SÃO FRANCISCO NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE SÃO FRANCISCO. 168

FIGURA 50 - NÍVEL DIÁRIO DO RIO SÃO FRANCISCO NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE SÃO FRANCISCO DE 1925 A 2018. 170

FIGURA 51 - NÍVEL MÉDIO, MÁXIMO E MÍNIMO MENSAL DE 1925 A 2018 DO RIO SÃO FRANCISCO NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE SÃO FRANCISCO. 170

FIGURA 52 - MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA DO NÍVEL DO RIO SÃO FRANCISCO AO LONGO DO ANO HIDROLÓGICO NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE SÃO FRANCISCO. 172

FIGURA 53 - ANÁLISE DO *SEASONAL TREND DECOMPOSITION* DOS DADOS DA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE SÃO FRANCISCO. 172

FIGURA 54 - MAPA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS PRINCIPAIS AFLUENTES DO RIO SÃO FRANCISCO E DO RIO PANDEIROS. 175

FIGURA 55 - PULSOS DE INUNDAÇÃO OCORRIDOS NO PRP ENTRE JULHO DE 2017 A JUNHO DE 2018. 176

FIGURA 56 - FOTOGRAFIAS DO PRP, DURANTE OS PULSOS DE INUNDAÇÃO. 177

FIGURA 57 - NÚMERO DE DIAS POR ANO EM QUE O NÍVEL DO RIO SÃO FRANCISCO É SUFICIENTE PARA INUNDAR O PRP, NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE SÃO FRANCISCO. 181

FIGURA 58 - NÚMERO DE DIAS POR ANO EM QUE O NÍVEL DO RIO SÃO FRANCISCO É SUFICIENTE PARA INUNDAR O PRP, NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA DE PEDRAS DE MARIA DA CRUZ. 181

FIGURA 59 - CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS DO RIO SÃO FRANCISCO E VAZÃO DO RIO PANDEIROS, DURANTE OS PULSOS DE INUNDAÇÃO. 182

FIGURA 60 - FREQUÊNCIA DAS INUNDAÇÕES POR ANO NA *WETLAND* DO PRP, DE 1925 ATÉ 2018. 183

FIGURA 61 - NÚMERO DE EPISÓDIOS DE INUNDAÇÃO POR ANO NO PRP. 184

FIGURA 62 - DURAÇÃO MÍNIMA, MÉDIA E MÁXIMA, POR ANO, DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO NO PRP. 185

FIGURA 63 - MAGNITUDES MÉDIAS DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO NO PRP. 186

FIGURA 64 - DISTRIBUIÇÃO DAS MAGNITUDES MÁXIMAS POR ANO NO PRP. 186

FIGURA 65 - VALORES DE PH DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, PRP E FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO EM 2017. 189

FIGURA 66 - VALORES DE CE DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, PRP E FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO EM 2017. 190

FIGURA 67 - VALORES DE TURBIDEZ DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, DO PRP E DA FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO EM 2017. 192

FIGURA 68 - VALORES DE ALCALINIDADE DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, DO PRP E DA FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO EM 2017. 193

FIGURA 69 - VALORES DOS SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, DO PRP E DA FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO EM 2017. 194

FIGURA 70 - VALORES DE SÍLICA DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, PRP E FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO EM 2017. 195

FIGURA 71 - ANÁLISE DOS COMPONENTES DISSOLVIDOS NA ÁGUA VIA ICP DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, DO PRP E DA FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO DURANTE A ESTAÇÃO ÚMIDA EM FEVEREIRO DE 2017. 197

FIGURA 72 - ANÁLISE DOS COMPONENTES DISSOLVIDOS NA ÁGUA VIA ICP DAS AMOSTRAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS, DO PRP E DA FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO DURANTE A ESTAÇÃO SECA EM OUTUBRO DE 2017. 198

FIGURA 73 - VALORES DE $\Delta^{18}O$ PARA OS PULSOS DE INUNDAÇÃO EM FEVEREIRO E MARÇO DE 2018 NA BACIA DO RIO PANDEIROS, NO PRP E NA FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO. 203

FIGURA 74 - VALORES DE $\Delta^{2}H$ PARA OS PULSOS DE INUNDAÇÃO EM FEVEREIRO E MARÇO DE 2018 NA BACIA DO RIO PANDEIROS, NO PRP E NA FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO. 205

FIGURA 75 - DIAGRAMA $\Delta^{2}H$ / $\Delta^{18}O$ PARA AS AMOSTRAS DO MÊS DE FEVEREIRO DE 2018. 206

FIGURA 76 - DIAGRAMA $\Delta^{2}H$ / $\Delta^{18}O$ PARA AS AMOSTRAS DO MÊS DE MARÇO DE 2018. 207

FIGURA 77 - VALORES DE $\Delta^{2}H$ E $\Delta^{18}O$ PARA OS PULSOS DE INUNDAÇÃO EM FEVEREIRO E MARÇO DE 2018 NA BACIA DO RIO PANDEIROS, PRP E FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO, RELACIONADOS COM A RETA METEÓRICA MUNDIAL. 210

FIGURA 78 - ACUMULADO DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 15 DIAS ANTERIORES A 10 DE FEVEREIRO DE 2018, QUE DEU ORIGEM AO 1º PULSO DE INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO NO ANO HIDROLÓGICO DE 2018. 212

FIGURA 79 - ACUMULADO DE PRECIPITAÇÃO NO BRASIL NOS ÚLTIMOS 5 DIAS ANTERIORES A 14 DE MARÇO DE 2018 QUE DEU ORIGEM AO 2º PULSO DE INUNDAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO NO ANO HIDROLÓGICO DE 2018. 213

FIGURA 80 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO (MÉDIA ENTORNO 1) E NA BACIA DO RIO PANDEIROS (MÉDIA ENTORNO 2). 216

FIGURA 81 - COMPARAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO, NÍVEL DO RIO SÃO FRANCISCO, VAZÃO DO RIO PANDEIROS E DADOS DOS PIEZÔMETROS NO PRP. 221

FIGURA 82 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. 222

FIGURA 83 - MAPA SLOPE LENGTH AND STEEPNESS LS FACTOR FOR USLE. 224

FIGURA 84 - FOTOGRAFIA DA MARGEM DIREITA DO PRP, NA TRANSIÇÃO ENTRE A VERTENTE E A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO, NA SUBUNIDADE P3 – BAIXO PANTANAL, ILUSTRANDO A RUPTURA DE DECLIVE MAIS ÍNGREME, CARACTERÍSTICA DO PRP. 225

FIGURA 85 - MAPA LITOLÓGICO E DO RELEVO DA ÁREA DE ESTUDO. 227

FIGURA 86 - MAPA DAS SUBUNIDADES HIDROGEOMORFOLÓGICAS DO PRP E IMAGEM DE SATÉLITE LANDSAT 8, SENSOR OLI, COMPOSIÇÃO R7G5B4 DE 4 DE DEZEMBRO DE 2015, COM O PRP DRENADO. 231

FIGURA 87 - PERFIS TOPOGRÁFICOS REPRESENTATIVOS DAS SUBUNIDADES HIDROGEOMORFOLÓGICAS DO PRP. 232

FIGURA 88 - PERFIL LONGITUDINAL DO BAIXO CURSO DO RIO PANDEIROS, COM INÍCIO NA BARRAGEM DA PCH ATÉ A FOZ NO RIO SÃO FRANCISCO. 234

FIGURA 89 - COMPARAÇÃO TEMPORAL COM IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT ENTRE OS PERÍODOS DE CHEIA E SECA. 236

FIGURA 90 - MODELO DE DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DAS SUBUNIDADES P3 E P4 DO PRP, NO TEMPO T=0, QUANDO A *WETLAND* ENCONTRA-SE DRENADA. 238

FIGURA 91 - MODELO DE DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DO PRP, NO TEMPO T=1. 240

FIGURA 92 - DETALHES DA DINÂMICA DE CIRCULAÇÃO DA ÁGUA NA FOZ DO RIO PANDEIROS, DURANTE UM GRANDE PULSO DE INUNDAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO, MOSTRANDO A INFLUÊNCIA DESTE NA MANUTENÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO PRP. 241

FIGURA 93 - MODELO DE DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DO PRP, NO TEMPO T=2. 242

FIGURA 94 - MODELO DE DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DO PRP, NO TEMPO T=3. 244

FIGURA 95 - MODELO DE DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DO PRP, NO TEMPO T=4. 246

FIGURA 96 - FOTOGRAFIAS DO PRP EM 10 DE FEVEREIRO DE 2017, INDICANDO, PELA COR DA ÁGUA, A CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE SEDIMENTOS QUE A *WETLAND* PODE PROMOVER. 247

FIGURA 97 - IMAGENS DE SATÉLITE MOSTRANDO A INTENSA DINÂMICA DE MODIFICAÇÃO DOS CANAIS DE DRENAGEM E AVULSÃO NOS DIQUES MARGINAIS, COMO POSSÍVEL INDICAÇÃO DE ASSOREAMENTO NO PRP. 248

FIGURA 98 - PERFIL TOPOGRÁFICO E FITOFISIONÔMICO DO TRANSECTO T1W, COM OS 4 PERFIS DE GEOCOBERTURAS AMOSTRADAS. 250

FIGURA 99 - LOCALIZAÇÃO DO TRANSECTO T1W, REPRESENTATIVO DA SUBUNIDADE P1 DO PRP. 250

FIGURA 100 - FOTOGRAFIAS REPRESENTATIVAS DA VEGETAÇÃO E A PAISAGEM DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM DO TRANSECTO T1W. 250

FIGURA 101 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 1 – TRANSECTO T1W. 251

FIGURA 102 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 1 - TRANSECTO T1W. 252

FIGURA 103 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T1W..... 253
FIGURA 104 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T1W. 254
FIGURA 105 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 3 - TRANSECTO T1W..... 255
FIGURA 106 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 3 - TRANSECTO T1W. 256
FIGURA 107 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 4 - TRANSECTO T1W..... 257
FIGURA 108 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 4 - TRANSECTO T1W. 258
FIGURA 109 - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO TRANSECTO T1W, INDICANDO O TIPO DE AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO DOS PERFIS 1, 2, 3 E 4. 259
FIGURA 110 - COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIO, MÍNIMO E MÁXIMO, POR PERFIL DE GEOCOBERTURAS NO TRANSECTO T1W. 263
FIGURA 111 - VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TEXTURA, FÍSICOS E QUÍMICOS DAS GEOCOBERTURAS SUPERFICIAIS DO TRANSECTO T1W. 264
FIGURA 112 - PERFIL TOPOGRÁFICO E FITOFISIONÔMICO DO TRANSECTO T2W COM OS PERFIS DE GEOCOBERTURAS AMOSTRADOS. 266
FIGURA 113 - LOCALIZAÇÃO DO TRANSECTO T2W. 266
FIGURA 114 - FOTOGRAFIAS REPRESENTATIVAS DA VEGETAÇÃO E A PAISAGEM DOS LOCAIS DE AMOSTRA DO TRANSECTO T2W. 266
FIGURA 115 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 1 - TRANSECTO T2W..... 267
FIGURA 116 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 1 - TRANSECTO T2W. 268
FIGURA 117 - FENDAS NAS GEOCOBERTURAS CARACTERÍSTICAS DO PERFIL P2, TRANSECTO T2W, FOTOGRAFIA DE JANEIRO DE 2016. 269
FIGURA 118 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T2W..... 270
FIGURA 119 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 2 – TRANSECTO T2W. 271
FIGURA 120 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 3 - TRANSECTO T2W..... 272
FIGURA 121 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 3 – TRANSECTO T2W. 273
FIGURA 122 - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO TRANSECTO T2W, INDICANDO O TIPO DE AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO. 274
FIGURA 123 - COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIO, MÍNIMO E MÁXIMO, POR PERFIL DE GEOCOBERTURAS NO TRANSECTO T2W. 276
FIGURA 124 - COMPARAÇÃO DOS VALORES NORMALIZADOS PARA AS ANÁLISES REALIZADAS NO TRANSECTO T2W. 279
FIGURA 125 - PERFIL TOPOGRÁFICO E FITOFISIONÔMICO DO TRANSECTO T3W COM OS PERFIS DE GEOCOBERTURAS AMOSTRADOS. 281
FIGURA 126 - LOCALIZAÇÃO DO TRANSECTO T3W, REPRESENTATIVO DA SUBUNIDADE P2 DO PRP, BEM COMO O SEU PERFIL TOPOGRÁFICO. 281
FIGURA 127 - FOTOGRAFIAS REPRESENTATIVAS DA VEGETAÇÃO E A PAISAGEM DOS LOCAIS DE AMOSTRA DO TRANSECTO T3W. 281
FIGURA 128 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 1 – TRANSECTO T3W. 282
FIGURA 129 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 1 – TRANSECTO T3W. 283
FIGURA 130 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T3W..... 284
FIGURA 131 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 2 – TRANSECTO T3W. 285
FIGURA 132 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 3 –TRANSECTO T3W. 286
FIGURA 133 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 3 – TRANSECTO T3W. 287
FIGURA 134 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 4 – TRANSECTO T3W. 287

FIGURA 135 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 4 – TRANSECTO T3W. 288
FIGURA 136 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 5 - TRANSECTO T3W 289
FIGURA 137 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 5 - TRANSECTO T3W. 290
FIGURA 138 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 6 - TRANSECTO T3W 291
FIGURA 139 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 6 - TRANSECTO T3W. 291
FIGURA 140 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 7 - TRANSECTO T3W 292
FIGURA 141 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 7 - TRANSECTO T3W. 293
FIGURA 142 - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO TRANSECTO T3W, INDICANDO O TIPO DE AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO. 294
FIGURA 143 - COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIO, MÍNIMO E MÁXIMO, POR PERFIL DE GEOCOBERTURAS NO TRANSECTO T3W. 297
FIGURA 144 - COMPARAÇÃO DOS VALORES NORMALIZADOS PARA AS ANÁLISES REALIZADAS NO TRANSECTO T3W. 299
FIGURA 145 - RADARGRAMA DA SUBUNIDADE P2: MÉDIO PANTANAL 302
FIGURA 146 - PERFIL TOPOGRÁFICO E FITOFISIONÔMICO DO TRANSECTO T4W COM OS PERFIS DE GEOCOBERTURAS AMOSTRADOS. 304
FIGURA 147 - LOCALIZAÇÃO DO TRANSECTO T4W, REPRESENTATIVO DA SUBUNIDADE P3 DO PRP. 304
FIGURA 148 - FOTOGRAFIAS REPRESENTATIVAS DA VEGETAÇÃO E A PAISAGEM DOS LOCAIS DE AMOSTRA DO TRANSECTO T4W. 304
FIGURA 149 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 1 - TRANSECTO T4W 305
FIGURA 150 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 1 - TRANSECTO T4W. 306
FIGURA 151 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T4W 307
FIGURA 152 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T4W. 308
FIGURA 153 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 3 - TRANSECTO T4W 309
FIGURA 154 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 3- TRANSECTO T4W. 310
FIGURA 155 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 4 - TRANSECTO T4W 311
FIGURA 156 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 4 - TRANSECTO T4W. 312
FIGURA 157 - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO TRANSECTO T4W, INDICANDO O TIPO DE AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO. 313
FIGURA 158 - COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIO, MÍNIMO E MÁXIMO, POR PERFIL DE GEOCOBERTURAS NO TRANSECTO T4W. 316
FIGURA 159 - COMPARAÇÃO DOS VALORES NORMALIZADOS PARA AS ANÁLISES REALIZADAS NO TRANSECTO T4W. 319
FIGURA 160 - RADARGRAMA DA SUBUNIDADE P3: BAIXO PANTANAL 323
FIGURA 161 - PERFIL TOPOGRÁFICO E FITOFISIONÔMICO DO TRANSECTO T5W COM OS PERFIS DE GEOCOBERTURAS AMOSTRADOS. 325
FIGURA 162 - LOCALIZAÇÃO DO TRANSECTO T5W, REPRESENTATIVO DA SUBUNIDADE 4 DO PRP. 325
FIGURA 163 - FOTOGRAFIAS REPRESENTATIVAS DA VEGETAÇÃO E A PAISAGEM DOS LOCAIS DE AMOSTRA DO TRANSECTO T5W. 325
FIGURA 164 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 1 - TRANSECTO T5W 326
FIGURA 165 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 1 - TRANSECTO T5W. 327
FIGURA 166 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T5W 328

FIGURA 167 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 2 - TRANSECTO T5W. 329
FIGURA 168 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 3 - TRANSECTO T5W..... 330
FIGURA 169 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 3 - TRANSECTO T5W. 331
FIGURA 170 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 4 - TRANSECTO T5W..... 331
FIGURA 171 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 4 - TRANSECTO T5W. 332
FIGURA 172 - CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PERFIL 5 - TRANSECTO T5W..... 333
FIGURA 173 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL 5 - TRANSECTO T5W. 334
FIGURA 174 - CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL DO TRANSECTO T5W, INDICANDO O TIPO DE AMBIENTE DE DEPOSIÇÃO. 335
FIGURA 175 - COMPARAÇÃO DOS VALORES MÉDIO, MÍNIMO E MÁXIMO, POR PERFIL DE GEOCOBERTURAS NO TRANSECTO T5W. 337
FIGURA 176 - COMPARAÇÃO DOS VALORES DAS ANÁLISES REALIZADAS NOS PERFIS DO TRANSECTO T5W..... 339
FIGURA 177 - RADARGRAMA E ELETRORRESISTIVIDADE DA SUBUNIDADE P4: FOZ DO RIO PANDEIROS E SISTEMAS DE LAGOAS MARGINAIS DO RIO SÃO FRANCISCO..... 345
FIGURA 178 - COMPARAÇÃO DE VALORES MÉDIA, MÍNIMO E MÁXIMO VALORES DOS ATRIBUTOS ANALISADOS, POR TRANSECTOS, DAS GEOCOBERTURAS NO PRP. 349
FIGURA 179 - *LOADING PLOT* DA ANÁLISE FATORIAL DE COMPONENTES PRINCIPAIS. 359
FIGURA 180 - RESULTADO DA DATAÇÃO DE SEDIMENTOS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA *WETLAND* DO PRP. 361
FIGURA 181 - FRACIONAMENTO ISOTÓPICO DO $\Delta^{13}C$ PARA AS AMOSTRAS DO PRP. 364

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - ESTRUTURA GEOLÓGICA SIMPLIFICADA DA BACIA DO RIO PANDEIROS. 40

QUADRO 02 - DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA BACIA DO RIO PANDEIROS. 80

QUADRO 03 - LISTA DAS IMAGENS DE SATÉLITES UTILIZADAS PARA REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES DURANTE O TRABALHO DA TESE (2015-2019). 82

QUADRO 04 - DADOS DE LOCALIZAÇÃO E OPERAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NA PESQUISA. 85

QUADRO 05 - RELAÇÃO DE TRABALHOS DE CAMPO COM SEUS RESPECTIVOS OBJETIVOS REALIZADOS DURANTE A PESQUISA. 91

QUADRO 06 - CATEGORIAS E COMPONENTES DA VERTENTE. 103

QUADRO 07 - RELAÇÃO DOS TRANSECTOS E PERFIS AMOSTRADOS NAS SUBUNIDADES DO PRP. 104

QUADRO 08 - DADOS DAS AMOSTRAS ANALISADAS COM TÉCNICA DO ^{14}C. 113

QUADRO 09 - RESULTADOS DA MENSURAÇÃO $^{10}BE/^{9}BE$ EM AMS. 127

QUADRO 10 - DISTRIBUIÇÃO AREAL POR GRUPO DE LITOLOGIA PARA CÁLCULO DE PORCENTAGEM DE COBERTURA LITOLÓGICA. 128

QUADRO 11 - DENSIDADE MÉDIA POR GRUPO DE LITOLOGIA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AMOSTRADAS. 128

QUADRO 12 - DADOS UTILIZADOS PARA CÁLCULO DA TAXA MÉDIA DE DESNUDAÇÃO POR BACIA HIDROGRÁFICA. 130

QUADRO 13 - DADOS DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DO ENTORNO 1. 137

QUADRO 14 - SÍNTESE DOS DOMÍNIOS GEOMORFOLÓGICOS DA BACIA DO RIO PANDEIROS. 151

QUADRO 15 - RESULTADOS DA TAXA MÉDIA DE DESNUDAÇÃO POR BACIA HIDROGRÁFICA UTILIZANDO O NUCLÍDEO COSMOGÊNICO *IN SITU* ^{10}BE. 154

QUADRO 16 - VALORES DE NÍVEL (EM CM) DO RIO SÃO FRANCISCO NA ESTAÇÃO 44200000 DURANTE JULHO DE 2017 ATÉ JULHO DE 2018. 178

QUADRO 17 - INTENSIDADE DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO NO PRP DE 1925 ATÉ 2018. 187

QUADRO 18 - COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA OS DADOS DE ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DA ÁGUA NA BACIA DO RIO PANDEIROS, DO PRP E DA FOZ DO RIO SÃO FRANCISCO. 200

QUADRO 19 - MÉDIAS DE LONGO TERMO PARA $\Delta^{18}O$[‰] E $\Delta^{2}H$[‰]. 208

QUADRO 20 - VALORES DAS MEDIDAS DE ESTATÍSTICA DESCRITIVA UNIVARIADA, A PARTIR DOS RESULTADOS EM LOG PARA TODOS OS TRANSECTOS DO PRP. 352

QUADRO 21 - VALORES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON, A PARTIR DOS RESULTADOS EM LOG PARA TODOS OS TRANSECTOS DO PRP. 353

QUADRO 22 - AUTOVALORES E VARIÂNCIA COMPARTILHADA PELAS VARIÁVEIS ORIGINAIS PARA A FORMAÇÃO DE CADA FATOR. 355

QUADRO 23 - SCORES FATORIAIS. 356

QUADRO 24 - CARGAS FATORIAIS. 357

QUADRO 25 - COMUNALIDADES RESULTANTES DA ANÁLISE FATORIAL DE COMPONENTES PRINCIPAIS. 358

QUADRO 26 - RESULTADOS DA DATAÇÃO VIA ^{14}C DE MACROFÓSSEIS E CARVÃO DE AMOSTRAS EM DIFERENTES LOCAIS DA *WETLAND* DO PRP. 362

QUADRO 27 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS AMOSTRAS DATADAS COM ^{14}C..... 365

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

°C: Graus Celsius

µS: Microssegundos

^{10}Be: Isótopo instável Berilo 10

^{13}C: Isótopo estável Carbono 13

^{14}C: Isótopo instável Carbono 14

^{18}O: Isótopo estável Oxigênio 18

^{2}H: Isótopo estável Hidrogênio 2

AGRITEMPO: Sistema de Monitoramento Agrometeorológico da EMBRAPA e CEPAGRI

ALOS: *Advanced Land Observing Satellite (Japan Aerospace Exploration Agency)*

AMS: *Acelerator Mass Spectometer*

ASF: *Alaska Satellite Facility (US NASA; University of Alaska Fairbanks)*

ATTZ: *Aquatic Terrestrial Transition Zone*

AU: Áreas úmidas

$CaCO_3$: Carbonato de Cálcio

CDTN: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CE: Condutividade elétrica

CMP: *Common Mid Point*

CO: Carbono orgânico

CO_3^{2-}: Carbonato

CODEMIG: Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais

CPRM: Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil)

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAPEMIG: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais

g/kg: Gramas por quilograma

GMWL: *Global Meteoric Water Line*

GPR: *Ground Penetration Radar* (Radar de penetração no solo ou georadar)

H_2O: Água

HCO_3^-: Bicarbonato

ICP-OES: *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry* (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente)

ICR: Índice de Consideração de rugosidade

IGAM: Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

KCl: Cloreto de Potássio

MDE: Modelo Digital de Elevação

mg/L: Miligramas por litro

MO: Matéria orgânica

NaOH: Hidróxido de Sódio

NGqA: Núcleo de Pesquisas em Geoquímica Ambiental

NTU: *Nephelometric Turbidity Unity* (Unidade Nefelométrica de Turbidez)

PALSAR: *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*

PCH: Pequena Central Hidrelétrica

pH (H^2O): pH em água

pH: Escala numérica adimensional utilizada para especificar a acidez ou basicidade de uma solução. Concentração de íons hidrogênio em mol por litro

ppm: Parte por milhão

PRP: Pantanal do rio Pandeiros

SIG: Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*

STD: Sólidos totais dissolvidos

STL: *Seasonal-trend decomposition*

SUDENE: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

SUERC: *The Scottish Universities Environmental Research Centre*

TFSA: Terra fina seca ao ar

Ti: Titânio

TOPODATA: Banco de dados Geomorfométricos do Brasil

TRM: Tempo de residência média

UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais

UHE: Usina Hidrelétrica

UTM: Universal Transversa de Mercator

ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCOU: Zona de Convergência de Umidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 24

1.1. TEMA 24
1.2. JUSTIFICATIVA 29
1.3. HIPÓTESES 33
1.4. OBJETIVO GERAL 34
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 34

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 36

2.1. QUADRO REGIONAL 36
2.2. CLIMA 38
2.3. GEOLOGIA 40
2.4. VEGETAÇÃO NATURAL 46

3. BASES TEÓRICO - CONCEITUAIS E NOVAS ABORDAGENS TECNOLÓGICAS NA HIDROGEOMORFOLOGIA 50

3.1. SOBRE A HIDROGEOMORFOLOGIA 50
3.2. SOBRE AS *WETLANDS* 52
3.3. IMPORTÂNCIA DOS PULSOS DE INUNDAÇÃO PARA AS *WETLANDS* CONTINENTAIS 64
3.4. USO DE NOVAS ABORDAGENS TÉCNICAS PARA A ANÁLISE DA DINÂMICA COMPLEXA DAS *WETLANDS* 66
3.4.1. Sobre os isótopos estáveis ^{2}H e ^{18}O 66
3.4.2. Sobre os isótopos instáveis ^{14}C e ^{10}Be 69
3.4.3. Utilização dos isótopos cosmogênicos para cálculo da taxa média de desnudação da bacia 71
3.4.4. Técnicas da geofísica: GPR e eletrorresistividade 73
3.4.5. Análise de vertentes: Sítios Geomorfológicos 74
3.4.6. Geocoberturas e dados complementares 75

4. MÉTODO, TÉCNICAS E MATERIAIS 76

4.1. INTRODUÇÃO 76
4.2. A ETAPA PRÉ-CAMPO 78
4.2.1. Revisão Bibliográfica e Levantamento Cartográfico 78
4.2.1.1. Levantamento de dados já existentes 78
4.2.1.2. Complementação de dados climáticos 80
4.2.1.3. Complementação de dados do relevo 80
4.2.1.4. Aquisição de dados de sensoriamento remoto 81
4.2.1.5. Mapeamentos preparatórios 83
4.2.1.6. Mapa de Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) 83
4.2.1.7. Índice de Hack 83
4.2.1.8. Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros e definição de áreas de amostragem. 83
4.2.2 Coleta de Dados Fluviométricos 84
4.2.3. Mapeamento Pré-amostragem 86
4.3. ETAPA DE TRABALHOS DE CAMPO 89
4.3.1. Trabalhos Preparatórios 89
4.3.2. Trabalhos de campo para coleta de amostras e aquisição de dados 90
4.3.3. Amostragem para Análise de ^{10}Be 91
4.3.4. Coleta de amostras de água para caracterização física e química 93
4.3.5. Coleta de amostras de água para análise de traçadores isotópicos ^{2}H e ^{18}O 96
4.3.6. Instalação e coleta de dados dos piezômetros 98
4.3.7. Delimitação dos sítios geomorfológicos 102
4.3.8. Levantamento de informações e coleta de amostras das geocoberturas superficiais com base nos Sítios Geomorfológicos 103
4.3.9 Coleta de dados de GPR 106
4.3.10. Coleta de dados de eletrorresistividade 109
4.3.11. Coleta de geocoberturas em profundidade 110
4.3.12. Coleta de amostras para datação por ^{14}C 111
4.4. ETAPA PÓS-CAMPO 115
4.4.1 Análises laboratoriais 115
4.4.1.1. Preparação das amostras para mensuração da concentração $^{10}Be/^{9}Be$ 115

4.4.1.2. Preparação das amostras para análise física e química da água superficial....118
4.4.1.3. Ensaios para obtenção dos dados de $\delta^{2}H$ e $\delta^{18}O$....119
4.4.1.4. Preparação das amostras para análise das geocoberturas superficiais....119
4.4.1.5. Preparação das amostras para datação do ^{14}C via AMS....124
4.4.2. Sumarização e interpretação dos dados....125
4.4.2.1. Cálculo da taxa média de desnudação por bacia hidrográfica via análise de ^{10}Be....127
4.4.2.2. Interpretação e apresentação dos dados de sensoriamento remoto....131
4.4.2.3. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados das estações fluviométricas....131
4.4.2.4 Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de análise física e química da água superficial....133
4.4.2.5. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados via análise dos traçadores isotópicos $\delta^{2}H$ e $\delta^{18}O$....133
4.4.2.6. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de monitoramento do nível da água via piezômetros....133
4.4.2.7. Apresentação dos transectos, sítios geomorfológicos e perfis de geocoberturas....137
4.4.2.8. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados das geocoberturas superficiais....137
4.4.2.9. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de GPR e eletrorresistividade....138
4.4.2.10. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de geocoberturas em profundidade....142
4.4.2.11 Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de datação de sedimentos via ^{14}C....142

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES....143

5.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DA BACIA DO RIO PANDEIROS....143
5.1.1 Dados complementares do clima da área de estudo....143
5.1.2 Dados complementares do relevo da área de estudo....147
5. 2 ASPECTOS GERAIS DA DINÂMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DA BACIA DO RIO PANDEIROS....149
5.2.1. Domínios geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros....149
5.2.2. Análise da dinâmica desnudacional na bacia do rio Pandeiros com o uso do nuclídeo cosmogênico ^{10}Be....153
5.2.3. Contribuição da vazão do rio Pandeiros para o PRP....156
5.2.4. A importância da alteração efêmera do nível da altura da coluna de água do rio São Francisco para a existência do PRP.....165
5.2.5. Características dos pulsos de inundação na wetland do PRP....173
5.2.6. Análise das características físicas e químicas da água na bacia do rio Pandeiros, no PRP e na foz do rio São Francisco....188
5.2.7. Análise da dinâmica hidrológica na foz do rio Pandeiros durante a inundação do PRP, através do uso de traçadores isotópicos....201
5.2.8. Análise da dinâmica hidrológica na foz do rio Pandeiros a partir da influência regional dos pulsos de inundação....211
5.2.9. Análise do monitoramento do nível da água no PRP e a influência dos pulsos de inundação das bacias do rio São Francisco e do rio Pandeiros, a partir da precipitação média nestas bacias....214
5.3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE ASPECTOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS E DE GEOCOBERTURAS DO PRP....222
5.3.1. Elementos comuns do Pantanal do rio Pandeiros (PRP)....222
5.3.2. Caracterização da dinâmica hidrogeomorfológica do PRP....235
5.3.3. Caracterização das geocoberturas da subunidade P1 da wetland: o Alto Pantanal....249
5.3.3.1. Análise lateral do transecto T1w....258
5.3.4 Caraterização das geocoberturas da subunidade P2 do PRP: o Médio Pantanal....265
5.3.4.1 Análise das geocoberturas superficiais do transecto T2w....265
5.3.4.2. Análise lateral do transecto T2w....273
5.3.4.3. Análise das geocoberturas superficiais do transecto T3w....280
5.3.4.4. Análise lateral do transecto T3w....293
5.3.4.5. Análise da subsuperfície da subunidade P2 – Médio Pantanal com GPR....300
5.3.5 Caracterização das geocoberturas da subunidade P3 do PRP: o Baixo Pantanal....303
5.3.5.1. Análise das geocoberturas superficiais....303
5.3.5.2. Análise lateral do transecto T4w....312
5.3.5.3. Análise da subsuperfície da subunidade P3 – Baixo Pantanal - com GPR....320
5.3.6. Caracterização das geocoberturas da subunidade P4 do PRP: Foz do rio Pandeiros e Sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco....324
5.3.6.1. Análise das geocoberturas superficiais....324
5.3.6.2. Análise lateral do transecto T5w....334
5.3.6.3. Análise da subsuperfície da subunidade P4 – Foz do rio Pandeiros e Sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco - com GPR e eletrorresistividade....340
5.3.7. Análise da distribuição longitudinal das geocoberturas no PRP....346
5.4. DATAÇÃO DOS SEDIMENTOS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DA *WETLAND* DO PRP....360

6. CONCLUSÃO....366

7. REFERÊNCIAS....373

APÊNDICE A - QUADRO DE REFERÊNCIA PARA O INÍCIO DE FIM DO ANO HIDROLÓGICO 389
APÊNDICE B - RESULTADOS ANÁLISE TRAÇADORES ISOTÓPICOS ^{2}H E ^{18}O 390
APÊNDICE C - RESULTADOS ANÁLISE FÍSICA DA ÁGUA NA BACIA DO RIO PANDEIROS E NO PRP 391
APÊNDICE D - RESULTADOS ANÁLISE DA ÁGUA NO ICP EM FEVEREIRO DE 2017 392
APÊNDICE E - RESULTADOS ANÁLISE DA ÁGUA NO ICP EM OUTUBRO DE 2017 393
APÊNDICE F - RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO TRANSECTO T1W 394
APÊNDICE G - RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO TRANSECTO T2W 395
APÊNDICE H - RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO TRANSECTO T3W 396
APÊNDICE I - RESULTADO DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO TRANSECTO T4W 397
APÊNDICE J - RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO TRANSECTO T5W 398
APÊNDICE K - RESULTADOS DA TAXA DE DESNUDAÇÃO MÉDIA POR BACIA HIDROGRÁFICA UTILIZANDO O NUCLÍDEO COSMOGÊNICO ^{10}Be COM VALORES DE DENSIDADE DE GEOCOBERTURA DE 2,5 G/CM^{-3} 399
APÊNDICE L - RESULTADOS DA TAXA DE DESNUDAÇÃO MÉDIA POR BACIA HIDROGRÁFICA UTILIZANDO O NUCLÍDEO COSMOGÊNICO ^{10}Be COM VALORES DE DENSIDADE DE GEOCOBERTURA INDIVIDUALIZADOS PARA CADA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA 400
APÊNDICE M - DADOS DO NÍVEL DO RIO NA ESTAÇÃO PEDRAS DE MARIA DA CRUZ 401
APÊNDICE N - RESULTADO DA DATAÇÃO DE SEDIMENTOS NA PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO DO PRP 405
APÊNDICE O - DESCRIÇÃO DOS TRANSECTOS 407

1. INTRODUÇÃO

1.1. Tema

O conhecimento científico sobre as paisagens constituídas pelas *wetlands* tem se ampliado em ritmo crescente desde o século XX (MITSCH e GOSSELINK, 2007; RAMSAR CONVENTION ON *WETLAND*S, 2018), fundamentado na necessidade de compreender sua complexidade, tendo em vista a importância ecossistêmica e a conscientização do seu papel ambiental relevante. Ao mesmo tempo, especialmente em países em desenvolvimento, com destaque para as áreas de expansão urbana e agrícola, têm sido registradas as maiores perdas destas áreas (GIBBS, 1993; HETTIARACHCHI *et al.*, 2015; HU *et al.*, 2017), se somando, desta maneira, às consequências geradas pela multiplicação de riscos ambientais (SANTOS, 2015).

As *wetlands* são caracterizadas pelo impedimento permanente ou temporário de drenagem, o que produz um ambiente adaptado às condições de alta umidade durante a maior parte do ano (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Há ampla variedade de características do regime hidrológico em termos de frequência, duração, magnitude, localização e fontes de suprimento de água para manter estes espaços. Na região tropical, a sazonalidade climática responsável pela alternância das estações úmidas e secas permite a flutuação dessa zona de umidade, seja por inundação, ou pela proximidade do nível freático com a superfície (MITSCH e GOSSELINK, 2007; JUNK *et al.*, 2014; CALHOUN *et al.*, 2016).

Elas possuem uma importância global estratégica como reservatórios de elementos que provocam o efeito estufa, principalmente o carbono; podendo assim auxiliar na mitigação dos impactos da mudança climática. Também podem contribuir com a redução da velocidade e da quantidade de escoamento superficial da água durante inundações em áreas urbanas, e podem colaborar com a redução da erosão costeira, atuando como uma barreira para reduzir a energia das ondas, dentre vários outros serviços ambientais que prestam. São habitats para a biodiversidade de diversas espécies, inclusive para as aves que migram, além de atuarem como reservatórios temporários de água durante a estação úmida e fornecimento de água durante a estação seca, contribuindo ainda com a retenção de sedimentos e limpeza de poluentes dos recursos hídricos. Não menos relevante, é sua contribuição à saúde e bem-estar humano, pois representam espaços que contém vários atributos ambientais que pertencem a cultura e história

das comunidades que habitam em seu entorno (MITSCH e GOSSELINK, 2007; HU *et al.*, 2017).

Recentemente, foi reconhecido o seu papel estratégico na dinâmica local de retenção de sedimentos e elementos químicos (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005) que podem ficar retidos em áreas com grande acúmulo de matéria orgânica (MO) (ACREMAN e HOLDEN, 2013; JUNK *et al.*, 2014), facilitando o controle de inundações e o tratamento de efluentes domésticos em áreas urbanas (JIA *et al.*, 2011), quando são artificialmente construídas pela sociedade. Tendo em vista essa relevante contribuição ao meio ambiente natural e mesmo antropizado, as *wetlands* exercem um papel central na dinâmica das bacias hidrográficas e possuem um grande potencial no planejamento das paisagens (HRUBY *et al.*, 1995).

As áreas úmidas, dentre as quais se destaca o Pantanal Mato-grossense no Brasil, são internacionalmente conhecidas como *wetlands*, sendo espaços que devem ser protegidos, segundo norma de direito internacional, a partir da Convenção de Ramsar criada em 1971. No Brasil, esta Convenção foi ratificada apenas no ano de 1993 e ainda não foi totalmente implementada (BRASIL, 1996). A legislação federal que protege a cobertura vegetal brasileira na forma do Código Florestal pela Lei Federal 12.651 de 2012, também utiliza a denominação de área úmida, apesar de não oferecer proteção jurídica que contemple todas as formas de ocorrências de *wetland*s que ocorrem no território brasileiro (ROSOLEN *et al.*, 2015; MALTCHIK *et al.*, 2018).

Apesar de existirem vários esforços de inventários e classificações quanto à tipologia das *wetland*s no mundo, esta tarefa é muito complexa (SEMENIUK e SEMENIUK, 1995). Isto, porque as *wetland*s ocorrem em condições muito diferenciadas, apresentando dificuldade para delimitação da transição entre a zona aquática e a zona drenada; seu regime hidrológico pode ser sazonal, intermitente ou efêmero e ainda podem ocorrer em múltiplas configurações topográficas, desde as áreas drenadas no interior dos continentes até nas zonas costeiras, nas zonas tropicais e temperadas (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

Este trabalho visa oferecer uma contribuição para a caracterização e análise da dinâmica das pequenas *wetlands* existentes no interior continental brasileiro, as quais, mesmo ocupando uma pequena porção do espaço em relação àquelas localizadas em áreas costeiras, podem exercer conjuntamente, papel importante para a manutenção e fluxo hídrico nas bacias hidrográficas (JUNK *et al.*, 2014; CALHOUN *et al.*, 2016). Assim, pretende-se ressaltar a importância das pequenas *wetlands*, uma vez que são representativas em ambientes savânicos

caracterizados, em geral, pela ocorrência de chuvas torrenciais concentradas nos meses úmidos e secas relativamente prolongada nos meses secos.

Um dos principais desafios relacionados ao estudo das *wetlands* não apenas no Brasil, mas no mundo, é a utilização de múltiplas nomenclaturas locais e regionais para estes espaços, o que acaba se refletindo no âmbito da pesquisa científica, no estudo e classificação destas áreas a partir da nomenclatura regional (MITSCH e GOSSELINK, 2007; JUNK *et al.*, 2014). Por esta razão, se optou, neste trabalho, pela utilização do termo *wetland* para se referir a análise da área úmida conhecida como Pantanal do rio Pandeiros (PRP), Pantanal Mineiro, ou "pântame" para os moradores do entorno, no sentido de envidar esforços para a pesquisa destes espaços, que mesmo possuindo diferentes características, podem ser reconhecidos como *wetlands*.

De um modo geral, a abordagem ecossistêmica é predominante no estudo das *wetlands* (BRINSON, 1993; LISENBY *et al.*, 2019). A análise e o estudo do papel do relevo e do meio físico são menos frequentes no entendimento destes espaços. Neste trabalho, a contribuição oferecida se dá no sentido de caracterizar estas áreas também como unidades hidrogeomorfológicas (SCHEIDEGGER, 1973), não buscando eliminar ou reduzir sua importância ecológica, mas confirmando a dimensão de complexidade destes ambientes, que não devem se sintetizar a uma ou outra parte.

Como existem poucos trabalhos com uma abordagem hidrogeomorfológica, procura-se centrar a análise na dinâmica natural das pequenas *wetlands*, como é o caso do Pantanal do rio Pandeiros, que ocupa em área, quando está inundada, de cerca de 1,03% da área total da bacia de drenagem do rio Pandeiros. Esta abordagem não diminui a importância de outras, como a biológica, com a sua grande influência sobre a fauna e flora, a química, de uso da terra e a de políticas públicas sobre estes espaços; no entanto, elas não constituem o foco do presente estudo.

Esta contribuição procura ressaltar a dimensão hidrogeomorfológica das *wetlands* continentais destacando a importância que a configuração geomorfológica pode conferir às *wetlands* (TOOTH, 2018; LISENBY *et al.*, 2019). Isto, não apenas em seu papel de diferenciar os ambientes deposicionais, mas também na importância que o nível de base local considerando suas variações temporárias, ou efêmeras, causada por processos hidrológicos, como as enchentes, por exemplo, que possuem para propiciar as condições de acumulação de água, ou as cotas altimétricas, que representam a capacidade de expansão e retração das áreas inundáveis.

A configuração geomorfológica pode conferir a determinados espaços a capacidade ou não de ocorrência de *wetlands*, que explica como, dentre os inúmeros afluentes do médio curso

do rio São Francisco, a existência de uma área com esta tipologia reconhecida apenas no rio Pandeiros. Aliada à complexidade das configurações que as *wetlands* podem assumir, principalmente aquelas com regime de inundação temporária no interior dos continentes, considera-se que, das várias abordagens existentes para o entendimento destes espaços, os trabalhos já realizados por Tooth (2018) e Lisenby *et al.* (2019), são aquelas que mais se aproximam da abordagem hidrogeomorfológica realizada na área do PRP. Estes autores já analisaram outras *wetlands* semelhantes à do PRP no mundo, a exemplo do sul do continente africano (TOOTH, 2018), Austrália e no sul da América do Norte (LISENBY *et al.*, 2019).

Neste aspecto, a importância dos níveis de base local e regional para a existência do PRP se mostra crucial. Como o nível de base representa o limite inferior para a ocorrência de processos erosivos, tendo o oceano como nível geral, ele afeta não somente os processos erosivos e os deposicionais como também a condição de presença e retenção da água. Na área de estudo, o nível de base local é dado pelo rio Pandeiros e o regional pelo rio São Francisco. A ação conjunta dos dois fornece as condições para a capacidade de acumular água na *wetland* quando a cota do rio São Francisco está elevada, ou para a sua drenagem, quando ocorre o oposto. Podem ocorrer outros níveis de base locais, provocados pela existência de estruturas ou superfícies topográficas, que são de natureza temporária. Alterações no nível de base dos rios são significativas em sistemas deposicionais, podendo provocar repercussões a montante nos sistemas de drenagem e na própria bacia hidrográfica (GOUDIE, 2004).

O fato de que o rio São Francisco constitui o nível de base do rio Pandeiros, isto é temporariamente expresso pela altura da cota do primeiro, a qual sofre alterações temporárias muito frequentes, não só diariamente, mas também durante ao longo do ano hidrológico, pode provocar variações no rio Pandeiros, principalmente quando se analisa a configuração do perfil longitudinal do PRP.

Associando estas características às condições naturais do meio físico da área, surgiu uma pergunta norteadora para esta pesquisa: qual seria a dinâmica da *wetland* do PRP frente a uma aceleração dos impactos ambientais negativos que ocorrem na bacia do rio Pandeiros no passado recente e atualmente?

A principal contribuição deste trabalho pode ser considerada como a análise da *wetland* da bacia do rio Pandeiros a partir de uma abordagem hidrogeomorfológica utilizando tecnologias oriundas de outras ciências como a Física e Química, o que é considerado por Viles (2016) como relativamente inovadora na Geomorfologia brasileira. Esta pesquisa vem no sentido de colaborar na construção do conhecimento da dinâmica superficial e subsuperficial

de uma parte da bacia do rio São Francisco, localizada na foz do rio Pandeiros. Como suporte teórico, a abordagem hidrogeomorfológica pode contribuir com o entendimento da dinâmica da paisagem do PRP, que é o objeto central da análise deste trabalho, reconhecido como uma tipologia de *wetland*. Espera-se que a geração de conhecimento auxilie na compreensão da evolução da paisagem e possa subsidiar a formulação de políticas públicas sustentáveis de uso da terra para esta área de estudo.

Partindo do entendimento da função e importância das *wetlands* continentais, estima-se que estas exercem um papel fundamental nas bacias hidrográficas. Na bacia do rio São Francisco, essas áreas são constituídas principalmente por veredas, sistema de lagoas marginais e pelo PRP, também conhecido como Pantanal Mineiro (DIEGUES, 1994). Apesar de ocuparem espaços pequenos na dimensão de sua extensão, suas localizações estratégicas e sua área considerada em conjunto (GIBBS, 1993), somada à função semelhante à de uma esponja, que retém água, para recarregar e armazená-la dentre os inúmeros afluentes desta bacia, tais áreas carecem cada vez mais de pesquisas, a fim de se verificar seu papel e potencialidade para a gestão dos recursos hídricos (SILVEIRA *et al.*, 2016; TRINDADE, 2016).

Estas pequenas *wetlands* continentais brasileiras são caracterizadas por terem um período de inundação temporário, não ficando inundadas permanentemente durante o ano. As propriedades desta inundação, como sua frequência, duração, intensidade e magnitude correspondem à sazonalidade das monções na América do Sul, sendo o principal suplemento de umidade para estas áreas (SANDI *et al.*, 2019), seja por contribuição de escoamento superficial que colabora para a drenagem fluvial, ou pela infiltração que resulta na recarga do nível freático, como por exemplo, as veredas que se localizam muitas vezes no alto curso de muitas bacias hidrográficas de afluentes do rio São Francisco (JUNK *et al.*, 2014; NEVES *et al.*, 2015).

A bacia do rio São Francisco está localizada em área de transição entre os biomas do Cerrado e da Caatinga, desde a nascente até sua foz, respectivamente. É reconhecida a contribuição que o bioma Cerrado possui para fornecer a maior quantidade de descarga fluvial para a bacia, por meio de seus principais afluentes. Contudo, as *wetlands* podem estar sendo ameaçadas devido aos danos ambientais já reconhecidos nestes biomas (AUGUSTIN *et al.*, 2009; CROUZEILLES *et al.*, 2017), associando-se às variabilidades atmosféricas que ocorreram entre 2014 e 2019 na região sudeste no Brasil por meio uma redução do total de precipitação anual frente a média histórica para as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil (ALVALÁ *et al.*, 2017; BRITO *et al.*, 2018; DE JONG *et al.*, 2018).

Neste sentido, o rio Pandeiros, importante afluente perene da margem esquerda do rio São Francisco (PEREIRA *et al.,* 2007), em seu trecho médio, é um representante das características apresentadas anteriormente, tanto sob o aspecto da presença de recursos naturais quanto sob a ameaça de sua manutenção futura. Mesmo estando em uma área de transição de biomas, a maior parte da bacia do rio Pandeiros é associada à grande área de vegetação do Cerrado, incluindo extensas áreas de veredas. A presença do Pantanal em sua foz, o próprio rio e sua bacia hidrográfica despertam o interesse da sociedade para que o que o conhecimento produzido sirva de contribuição para a adoção de práticas de uso sustentável de seus recursos, visando sua recuperação e preservação (BETHONICO, 2009; NUNES, 2009).

A dinâmica da água nestas paisagens é condicionada pelo relevo, mas também pode influenciá-lo (LISENBY *et al.*, 2019). Além disso, a intensificação do uso da terra pode gerar impactos ambientais nesta dinâmica, ou seja, sobre as *wetlands* e consequentemente na quantidade e qualidade da água desde nascentes até grandes rios, como no PRP e na bacia hidrográfica do rio São Francisco.

A fragilidade natural, associada à intensa ocorrência de processos erosivos encontrada em algumas áreas do Cerrado e somada à conversão de uso da terra está causando muitos impactos ambientais nas *wetlands* e seus ecossistemas, como o entulhamento dos fundos de vale, redução da vazão e da infiltração, frente a um possível aumento do escoamento superficial desta importante área para a bacia hidrográfica do rio São Francisco (CETEC, 1981; AUGUSTIN *et al.*, 2009; SANTOS, 2016). Na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, onde existem tipologias diferentes de áreas úmidas também ocorreu uma intensa conversão de uso da terra (BETHONICO, 2009), que pode afetar a dinâmica hidrogeomorfológica, incluindo as *wetlands* existentes.

1.2. Justificativa

As *wetlands* podem ter uma grande importância na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Mesmo considerando que a maior parte seja constituída por pequenos fragmentos, estes possuem uma grande importância local e internacional, no sentido de armazenamento e disponibilidade de água ao longo do ciclo hidrológico anual e como área de armazenamento de carbono orgânico (CO). Além disso, as *wetlands* semelhantes ao PRP, como o sistema de lagoas marginais do rio São Francisco, caracterizadas como planícies de inundação, possuem também grande importância para a conservação da biodiversidade.

Estes ecossistemas são caracterizados por se localizarem em depressões suaves, sendo que um pequeno aumento vertical do nível da água tanto do rio ao qual está vinculado (local), como do rio principal ao qual o rio de vinculação é afluente (nível regional), pode gerar grande variabilidade na área alagada. No rio Pandeiros, esses eventos são marcados pelo impedimento da drenagem, gerando um sistema complexo de áreas alagadas: de lagoas permanentes, temporárias a meandros em vários estágios de dinâmica, sendo comum a deposição e o acúmulo de matéria orgânica (MO), sedimentos, incluindo eventualmente episódios de assoreamento do rio Pandeiros e solos hidromórficos. Estas áreas são importantes para espécies da região, muitas das quais endêmicas, tanto do Cerrado como da Caatinga e para a manutenção do regime hídrico das bacias hidrográficas onde estão localizadas (NEVES, 2011).

Existem poucos trabalhos em escala de maior detalhe com a abordagem geomorfológica na região. O primeiro mapeamento geomorfológico na região foi realizado por Rodrigues e Augustin (2012), demonstrando a importância da litologia na elaboração do relevo regional e a associação entre a base geológica e a presença das veredas como elementos da estrutura de dissecação de chapadas, em diferentes graus de alteração.

Especificamente na bacia do rio Pandeiros e no PRP, as pesquisas também são muito escassas, sendo os primeiros levantamentos integrados em escala regional (CETEC, 1981; RADAMBRASIL, 1982). Ao final da década de 2000, surgem novos trabalhos, a maior parte na escala da bacia hidrográfica do rio Pandeiros (BETHONICO, 2009; NEVES, 2011; FONSECA, 2012; DIAS, 2017) e poucos que abordam a escala do PRP (LOPES *et al.*, 2010). Dentre aqueles existentes, a maioria com o objetivo de realizar mapeamento e classificação da cobertura vegetal na bacia e na área do Pantanal, em virtude da transição de fitofisionomias entre o Cerrado e a Caatinga encontrados na região (NUNES *et al.*, 2009; BARBOSA, 2010), incluindo aí duas edições especiais na revista MG.BIOTA no ano de 2009 com a apresentação de pesquisas sobre cobertura vegetal e ecologia.

Em função disso, a dinâmica de circulação de materiais ao longo da bacia hidrográfica do rio e do próprio PRP, ainda não é completamente conhecida. Os sedimentos erodidos e transportados provenientes principalmente das rochas do Grupo Urucuia são depositados em vários locais ao longo do perfil longitudinal da rede de drenagem, em locais de baixa energia e declividade, proporcionando um ambiente de agradação de MO, areia e eventualmente argila, onde se encontram os ambientes de veredas e o próprio Pantanal (OLIVEIRA *et al.*, 2017; AUGUSTIN *et al.*, 2017).

Também está ocorrendo uma aceleração dos processos erosivos em quantidade por área e volume de sedimento transportado em vários locais da bacia hidrográfica do rio Pandeiros (CETEC, 1981; LIMA *et al*., 2019; LIMA, 2019; AUGUSTIN *et al.*, 2019). Como se trata de uma bacia assimétrica, a circulação de matéria e energia pode se dar em velocidades diferentes em cada um dos afluentes situados nas margens esquerda e direita do rio Pandeiros. Estudos relacionam as alterações antrópicas nas veredas da bacia do rio Pandeiros com a redução da vazão da água durante a estação seca entre os anos de 2009 e 2010 (NEVES, 2011). Nos locais onde ocorreu conversão de uso ou degradação nas veredas, delimitadas pela hidromorfia, a vazão também reduziu, até secar completamente, independentemente das condições ambientais das áreas drenadas (NEVES, 2011).

Outro fator antrópico que potencializou a ocorrência de impactos ambientais no PRP foi a construção, em 1957, de uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH) no rio Pandeiros, a montante do PRP (FONSECA *et al.*, 2008). Segundo estes autores, devido à grande carga de sedimentos transportados até o canal deste rio e que eram depositados regularmente no reservatório da usina, ocorria constantemente liberação de água e de grande parte desta carga de material a jusante, que atingia justamente a área do PRP, assoreando-o. Assim, a PCH pode ter uma influência muito grande na configuração moderna desta *wetland*.

Para outros autores, no entanto, a análise da vazão específica média do rio Pandeiros, entendida como o fluxo volumétrico referente à área da bacia acima do ponto de medida da vazão de longa duração, no período de 1950 a 2000, manteve-se estável, próxima de 6 Ls^{-1} km^{-2}, inclusive com leve aumento no período de 1979 a 2000 (PEREIRA *et al.*, 2007). Essas análises aparentemente contraditórias só reforçam o fato de que o monitoramento contínuo da dinâmica hidrogeomorfológica é muito escasso.

Os efeitos do assoreamento, independentemente de serem naturais ou antrópicos, ou os dois, são, no entanto, bem conhecidos uma vez que, associados a uma redução da vazão dos cursos de água, vêm causando destruição de várias *wetland*s na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, inclusive com a presença de cones de dejeção sobre as planícies aluviais (CETEC, 1981; NUNES *et al.*, 2009; NEVES, 2011).

Entende-se que o PRP possui uma dinâmica muito complexa e interdependente entre várias escalas. Uma destas escalas contempla toda a área da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, e considera que ela seja um sistema de evolução geomorfológica de dissecação e desnudação de unidades geológicas da bacia sedimentar Sanfranciscana a qual, devido a sua litologia, é naturalmente propensa a ocorrência de vários processos erosivos e aceleradas taxas de erosão,

conforme já indicado por CETEC (1981). Os estudos desse órgão já indicavam a existência generalizada de processos erosivos e transporte de sedimentos ao longo da bacia do rio Pandeiros, sendo que este material eventualmente chega até o canal do rio São Francisco.

A outra escala de análise refere-se à dinâmica hidrogeomorfológica existente no baixo curso do rio Pandeiros, que segue o regime de secas e inundações comuns aos rios do ambiente savânico da América do Sul, controladas pelo regime de chuvas (SYVITSKI *et al.*, 2014). Esta dinâmica também tem influência dos pulsos de inundação (JUNK *et al.*, 1989) do rio São Francisco no período chuvoso, durante os momentos em que a região do Alto rio São Francisco, localizado a montante do rio Pandeiros, está sob influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). É quando o rio drena toda a precipitação desta parte da bacia em seu canal de drenagem, provocando uma grande elevação de sua cota na foz do rio Pandeiros.

Considerando que esta *wetland* é formada por uma configuração complexa e dinâmica, que varia em função da vazão do rio Pandeiros, da vazão e altura do rio São Francisco, do comportamento da água subterrânea, da densidade da vegetação do Pantanal e do relevo local, o fluxo de matéria e energia existentes, poderiam ser influenciados por muitos outros fatores, cíclicos e acíclicos, para além da contribuição do transporte e deposição dos clastos das rochas sedimentares oriundas apenas da bacia do rio Pandeiros.

A área da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, e também do Pantanal, são também unidades de conservação, o que também justifica o interesse do poder público, representado principalmente pelo estado de Minas Gerais, sobre a área do PRP, que é protegido pelo decreto estadual 43.910 de 2004 (MINAS GERAIS, 2004) na forma uma unidade de conservação de proteção integral, o Refúgio Estadual de Vida Silvestre do rio Pandeiros, sendo que a bacia em quase toda a sua extensão, também está compreendida na área de uma Área de Proteção Ambiental (APA) (BETHONICO, 2009; NUNES *et al.*, 2009).

Embora a maior parte das pesquisas sobre *wetlands* tenha uma abordagem ecossistêmica, outros importantes fatores como a geomorfologia e o clima são fundamentais para o entendimento e definição dos seus principais componentes. Muitas vezes, por apresentarem uma escala espacial maior do que à das *wetland*s, as formas de relevo, seus processos e o clima, não sejam automaticamente reconhecidos como parte dos componentes que afetam e condicionam diretamente todas as suas características e dinâmica.

Este trabalho, busca demonstrar que as características geomorfológicas e climáticas de longo termo, fornecem as condições essenciais para que ocorra a dinâmica do PRP (LISENBY *et al.*, 2019), apontando o foco para o papel desses fatores na manutenção desta *wetland*. São

eles que lhe dão configurações propícias à manutenção da dinâmica da *wetland* (TOOTH, 2018), sem as quais, ela poderia se transformar em outro sistema hídrico, drenado ou permanentemente inundado, mas desconfigurado como *wetland* em si.

Este trabalho buscou analisar a dinâmica que ocorre atualmente no PRP como um aprofundamento do projeto de pesquisa "Sustentabilidade da bacia do Rio Pandeiros: Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros**"** (Edital 13/2014, Processo nº APQ-03773-14), que buscou ampliar os dados e informações sobre a base física natural da bacia, incluindo a obtenção de medidas hidrossedimentológicas, como base de sustentação para políticas de contenção da degradação ambiental. O presente trabalho faz parte desse projeto através do subprojeto 1A: Análise da dinâmica de encostas e da Hidrogeomorfologia da bacia de drenagem bacia do rio Pandeiros-MG, a cargo do IGC-UFMG.

1.3. Hipóteses

O sistema de *wetlands* do Pantanal do rio Pandeiros é produto de processos hidrogeomorfológicos multiescalares atuantes também de fora da bacia do rio Pandeiros.

Os processos da dinâmica hidrogeomorfológica são condicionados pelas formas do relevo da *wetland*.

1.4. Objetivo geral

Entender o papel dos processos hidrogeomorfológicos responsáveis pela configuração do sistema das pequenas *wetlands* continentais como o PRP, particularmente no que se refere às conexões entre a dinâmica espaço-temporal dos regimes fluviais da área, a dinâmica hídrica durante os pulsos de inundação e os processos de sedimentação, bem como o papel da morfologia do terreno para, e nestas, conexões.

1.5. Objetivos específicos

- Identificar e caracterizar as subunidades hidrogeomorfológicas do PRP destacando suas peculiaridades em termos de morfologia e processos;

- Identificar as características gerais da geomorfologia do baixo curso do rio Pandeiros e analisar a contribuição do aporte de sedimentos no sistema de *wetlands* do PRP;

- Verificar a contribuição dos sedimentos oriundos da bacia do rio Pandeiros na escala temporal do Holoceno e Pleistoceno inferior (até 1,5 milhão de anos) por meio do uso do nuclídeo cosmogênico ^{10}Be através do cálculo da taxa média de desnudação por bacia hidrográfica;

- Analisar a dinâmica de vazão do rio Pandeiros a montante do PRP em escala temporal ao longo do ano hidrológico em termos de contribuição de pulsos de inundação e regime temporal de movimentos de sedimentos depositados no PRP;

- Analisar as influências do regime do nível de base temporário do PRP (rio São Francisco) na configuração e dinâmica espaço-temporal das *wetlands*, particularmente no tocante aos pulsos de inundação e sua influência na configuração e dinâmica do sistema de *wetlands* do PRP;

- Identificar a influência das águas do rio Pandeiros e do rio São Francisco no regime de inundação do PRP bem como sua dinâmica espaço-temporal durante as estações úmida e seca, através da análise das principais características físicas e hidroquímicas das águas superficiais do PRP;

- Analisar a oscilação longitudinal do nível de água superficial e subsuperficial do PRP;

- Verificar a influência das geocoberturas superficiais na dinâmica geomorfológica do PRP através da sua caracterização física e química de amostras coletadas em perfis ao longo de transectos, estabelecidos por meio de sítios geomorfológicos ao longo da área do PRP;

- Identificar possíveis estruturas deposicionais e tipo de materiais da subsuperfície de vertentes representativas do PRP, por meio de técnicas da geofísica como o *ground penetrating radar* e a eletrorresistividade;

- Investigar a cronologia de deposição e retrabalhamento das sequências sedimentares no PRP por meio de datação por radiocarbono ^{14}C.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Quadro regional

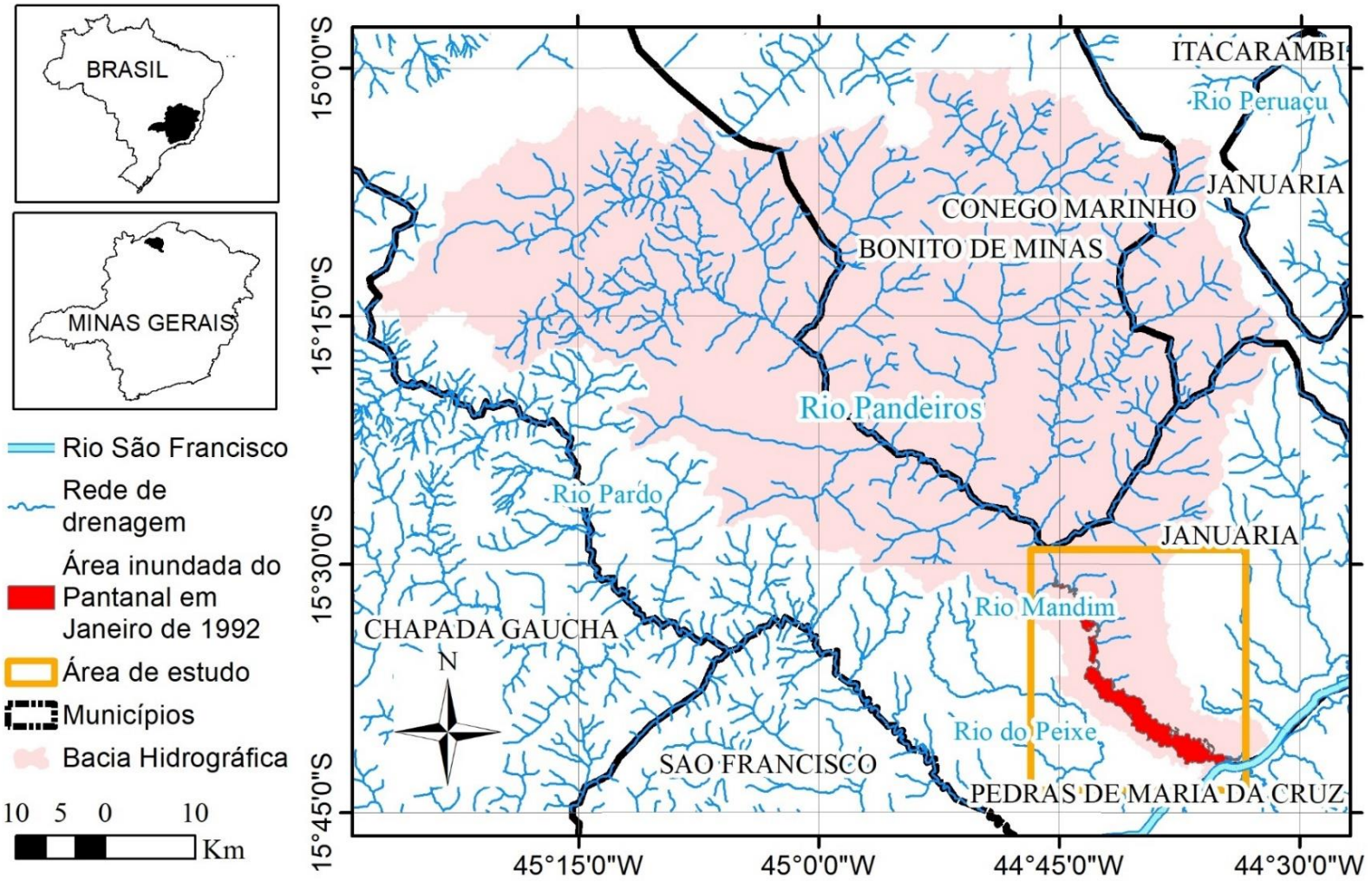
A bacia do rio São Francisco possui no total 639.219 km^2, ocupando 7,5% do território brasileiro. O rio Pandeiros situa-se no trecho médio da bacia, trecho este delimitado a jusante da cidade de Pirapora-MG até a cidade de Remanso-BA, compondo a maior área da bacia do rio São Francisco, com 55% do total de área da bacia. Dos 36 principais rios da bacia, apenas 19 são perenes (PEREIRA *et al.*, 2007).

As áreas das bacias dos rios Pará, Paraopeba, Abaeté, Velhas, Paracatu, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Cariranha, Corrente e Grande representam 46,3% da área da bacia, mas contribuíram com 83% da vazão do rio São Francisco no período entre 1950 até 2000 (PEREIRA *et al.*, 2007).

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros está localizada na região Norte do Estado de Minas Gerais, na margem esquerda do rio São Francisco, configurando-se em um importante afluente tanto no que se refere à quantidade e qualidade da água, como também sob o aspecto da fauna e flora (PEREIRA *et al.*, 2007). É limitado a leste pelo rio Peruaçu, a oeste pelos rios Pardo e Peixe, a norte pelo rio Carinhanha e a sul pelo rio São Francisco. A bacia, localizada entre as coordenadas geográficas 15° 0’ 00” Se / 15° 43’ 00” S e 44° 30’ 00” O / 45° 28’ 00” O, engloba áreas os Municípios de Bonito de Minas, Januária e Cônego Marinho, totalizando 3.960, 37 km^2 (Figura 1) e ocupando aproximadamente 0,7% da área total da bacia do rio São Francisco. Em termos de contribuição da vazão potencial como afluente do rio São Francisco, que considera como se toda a precipitação fosse convertida em escoamento, entre 1950 e 2000, o rio Pandeiros contribuiu com aproximadamente 0,9% da vazão levando em consideração o tamanho das bacias hidrográficas e a precipitação média anual que ocorreu nas bacias dos afluentes neste período (PEREIRA *et al.*, 2007), sendo que os maiores contribuintes foram os rios Grande e Paracatu.

Na análise da contribuição real, que leva em consideração as perdas por evapotranspiração, os valores são muito semelhantes aos valores potenciais, sendo o principal contribuinte o rio Paracatu (18,9%), depois o rio Grande (10,9%) e o rio das Velhas (10,5%), enquanto o rio Pandeiros participa com aproximadamente 1,0% da vazão do rio São Francisco (PEREIRA *et al.*, 2007).

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Pandeiros.



Fonte: OLIVEIRA *et al*. (2017).

2.2. Clima

As características climáticas são muito importantes para o entendimento das *wetlands*, principalmente daquelas temporárias, que apresentam dependência da precipitação sazonal para serem inundadas. Estas áreas são recorrentes no interior dos continentes da região tropical úmida, da semiárida e até da desértica, como na América do Sul, África e na Oceania (MITSCH e GOSSELINK, 2007; TOOTH, 2018).

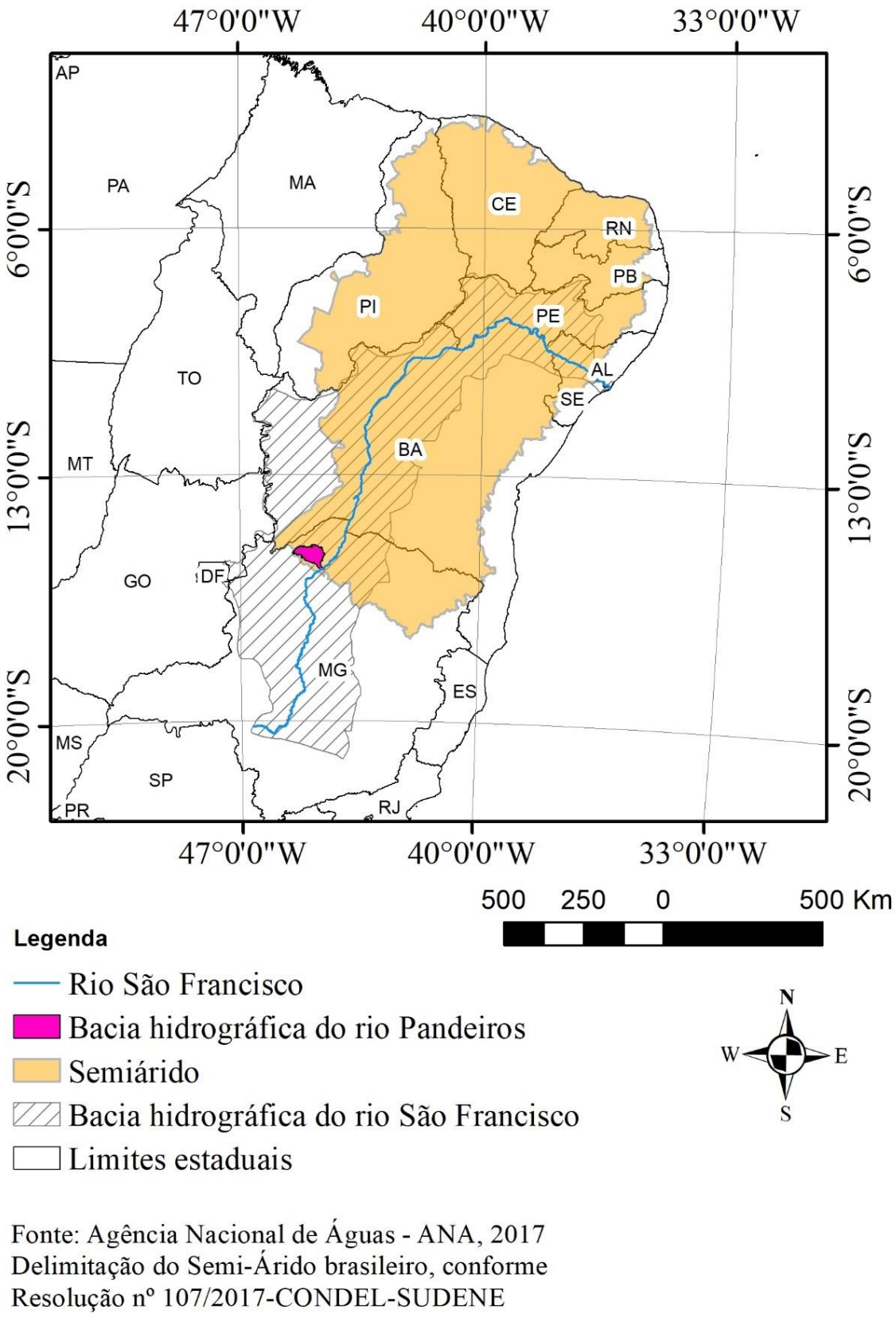
A bacia do rio Pandeiros está situada no extremo sul do semiárido brasileiro, conforme classificação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) no ano de 2017, conforme a figura 2 (BRASIL, 2017). Isto se reflete no clima da bacia que apresenta uma variabilidade muito grande da precipitação anual, característica do clima semiárido.

O clima na bacia do rio São Francisco é caracterizado por temperaturas médias anuais oscilando entre 18°C e 27°C, com baixa nebulosidade e consequentemente uma grande incidência de radiação solar e elevadas taxas de evapotranspiração, podendo chegar, no trecho Submédio da bacia do rio São Francisco, onde está localizada a bacia do Pandeiros, a 3.000 mm ano $^{-1}$ caracterizando duas estações bem distintas, uma seca e outra úmida (PEREIRA *et al.*, 2007).

Na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, a precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 mm, sendo semelhante às das bacias hidrográficas do rio das Velhas, Paracatu, Urucuia e Cariranha. A jusante do rio Pandeiros, a maior parte dos afluentes tem uma precipitação anual menor, chegando a 700 mm anuais no intervalo de 1950 a 2000 (PEREIRA *et al.*, 2007). Assim na região, tanto as condições climáticas na bacia do rio Pandeiros, quanto as do rio São Francisco, são influenciadas pelas oscilações características do clima semiárido, principalmente no que se relaciona à precipitação total anual.

A classificação climática de Köppen (AYOADE, 2004) pertinente para a bacia é a Awa, ou seja, Clima de savana com verão quente, pois a temperatura média do mês mais frio é superior a 18°C (Clima tropical chuvoso), sendo que as chuvas estão concentradas no verão (distribuição sazonal da precipitação w) e com as características adicionais de temperatura possuindo um verão quente, pois o mês mais quente, outubro, tem temperatura média maior do que 22°C.

Figura 2 - Mapa de localização da bacia do rio Pandeiros em relação ao Semiárido brasileiro.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

2.3. Geologia

A região Norte de Minas Gerais está parcialmente localizada na bacia Sanfranciscana, apresentando estrutura de camadas sedimentares, formada por coberturas Neoproterozóicas (Grupo Bambuí) e Fanerozóicas (Grupo Urucuia, juntamente com depósitos terciários-quaternários) (IGLESIAS e UHLEIN, 2009). A bacia hidrográfica do rio Pandeiros está localizada sobre estes sistemas deposicionais da cobertura Fanerozóica do Cráton do São Francisco, denominado de Bacia Sanfranciscana (CAMPOS e DARDENNE, 1997). O quadro 01 apresenta a composição simplificada da cobertura litológica presente na bacia do rio Pandeiros.

Quadro 01 - Estrutura geológica simplificada da bacia do rio Pandeiros.

IDADE	MATERIAIS	NOMENCLATURA
Neógeno (23 a 1,8 milhões de anos)	Areias e cascalhos	Depósitos aluvionares
	Areias e cascalhos	Coberturas elúvio - coluvionais, Coberturas detrítico - lateríticas
Cretáceo Superior (100 a 66 milhões de anos)	Arenitos finos	Formações Posse, Serra das Araras (Grupo Urucuia)
Neoproterozóico (1 bilhão e 541 milhões de anos atrás)	Calcarenitos e calcilutitos, raros ritmitos sílticos.	Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí)
Arqueano (3,85 bilhões de anos e 2,5 bilhões de anos atrás)	Quartzo dioritos e granitóides	Complexo Januária

Fonte: Campos e Dardenne, 1997.

As rochas do Complexo Januária representam o afloramento do embasamento que ocorre principalmente nos fundos de vale dos maiores afluentes da margem esquerda do rio Pandeiros, como o Catolé e o Borrachudo. As rochas mais representativas são quartzo diorito e granitóides. Sua ocorrência pode estar vinculada a evolução erosional e preservação destas superfícies ao longo dos vales dos canais de drenagem (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015c).

Sobre o complexo cristalino, o embasamento para as coberturas Fanerozóicas da bacia do rio Pandeiros na maior parte da região é formado por rochas do Grupo Bambuí – Formação Sete Lagoas (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015b). Nesta formação predominam calcários cinza claros a escuros, principalmente calcarenitos finos a muito finos, em geral com estratos centimétricos a decimétricos. Segundo Branco e Costa (1961, *apud* MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015b), a sedimentação do Grupo Bambuí teria iniciado na região de Sete

Lagoas, e depois foi sobreposta pela Formação Rio Paraopeba. Sua espessura como um todo, pode chegar a mais de 1.000 metros, conforme Martins-Neto e Alkimim (2001, *apud* MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015b).

A deposição das rochas do Grupo Bambuí ocorreu entre 750 e 600 Ma (IGLESIAS e UHLEIN, 2009) em bacia no ambiente de margem convergente, com cavalgamentos durante a Orogenia Brasiliana, ao longo da Faixa de Dobramentos Brasília em resposta às colisões ocorridas entre 800 e 600 Ma (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015c, p. 11). A bacia Bambuí foi formada por três sequências transgressivas-regressivas. O primeiro ciclo ocorre com a sedimentação do Grupo Vazante, sendo representado no topo pelos calcários da Formação Sete Lagoas. O segundo ciclo é representado pelos folhelhos e siltitos da Formação Serra de Santa Helena, sendo complementado pelos calcarenitos da Formação Lagoa do Jacaré. O terceiro ciclo compreende as rochas pelíticas da Formação Serra da Saudade e da Formação Três Marias. Neste ciclo não ocorrem rochas calcárias, mas arcósios, arenitos e conglomerados de origem marinha rasa a fluvial, representando o assoreamento final da Bacia Bambuí (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015b).

Sobre as rochas do Grupo Bambuí estão depositadas as rochas do Grupo Urucuia, que é composto por arenitos, sendo dividido nas Formações Posse (Fácies 1 e 2) e Serra das Araras, tendo como ambientes de formação, respectivamente, depósitos eólicos de campos de dunas secas, e depois como fluvial entrelaçado depositado em canais e fluvial entrelaçado sedimentado em lençóis de areia e cascalho. Esta litologia está presente em toda a bacia Sanfranciscana, mas ao norte, torna-se a unidade predominante. Sua área fonte estaria situada na porção Nordeste do Cráton do São Francisco e o transporte teria ocorrido de Nordeste-Leste para Sudoeste-Oeste. Assim, a Serra do Espinhaço Setentrional, seria a fonte predominante do quartzo, que também foi reciclada durante a evolução da bacia Urucuia (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

Com idade Neocretácea, o Grupo Urucuia tem grande representação em área e volume de rochas a partir do paralelo 17° sul, seguindo até o sudeste do estado do Piauí. Este grupo poderia ter sido formado concomitante ou como equivalente a Formação Capacete do Grupo Mata da Corda, ao sul da bacia Sanfranciscana (LADEIRA e BRITO, 1968; BARCELOS e SUGUIO, 1980; SEER *et al.*, 1989; CAMPOS e DARDENNE, 1997). Sua espessura varia de sul para norte, a partir de 25 metros, próximo de São Gonçalo do Abaeté, 80 metros em Serra da Palmeira/MG e chegando até 200 metros no meio norte da bacia, em São Domingos/GO (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

A Formação Posse do Grupo Urucuia é considerada como a base do Grupo Urucuia, de idade do Cretáceo Superior. É uma litologia que predomina sobre a maior parte da área da bacia do rio Pandeiros. Ela também é coberta pelos depósitos detrítico - lateríticos da Cobertura elúvio - coluvial. Esta formação tem sido estudada desde o final do século XIX, sendo conhecida inicialmente como Arenito Urucuia. Campos e Dardenne (1997) dividiram o Grupo Urucuia em Formação Posse (base) e Serra das Araras (topo), sendo brusco o contato entre estas duas formações, composto de um conglomerado basal. A espessura da Formação Posse é por volta de 70 metros na Folha São Joaquim. Seus afloramentos são esparsos e locais, sendo em geral bastante intemperizado com arenitos finos e mal selecionados (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015b).

A Formação Posse pode ser subdividida em Fácies 1 e 2, sendo que a Fácies 1 é dominante, representando cerca de 70% do conjunto (CAMPOS e DARDENNE, 1997). A Fácies 1, é constituída por arenitos muito finos, finos, médios, com boa maturidade textural e mineralógica, sendo em geral bem selecionados. São formandos predominantemente por quartzo monocristalino, podendo ocorrer grãos de silexitos, feldspatos, zircão, turmalina e epídoto. São encontrados também lentes e níveis de conglomerados médios a finos, em seixos do próprio arenito, veios de quartzo e quartzitos. Normalmente ocorre uma cimentação silicosa associada a estes conglomerados. O ambiente de sedimentação está associado a um sistema eólico de campos de dunas (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

A Fácies 2 é composta por arenitos brancos, ocres, finos, argilosos ou não, sendo também bem selecionados, mas menos maturos, quando comparados a Fácies 1. Também contém o quartzo monocristalino como fragmento mais comum. São arenitos feldspáticos e quartzo arenitos. Contém ainda feldspatos, epídoto, zircão e turmalina (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

Nesta Fácies 2, a ocorrência de material argiloso ocorre em maior frequência, incluindo a smectita. Microscopicamente ocorre em níveis mal selecionados, às vezes associados a siltitos argilosos, sendo a cimentação por sílica muito restrita. O ambiente de deposição desta fácies seria em sistema fluvial entrelaçado psamítico. As formas alcançam até 3 metros de espessura (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

Em sua porção superior, são constituídos por arenitos finos a muito finos, bem selecionados, com estratificações cruzadas de grande porte e médios ângulos, com claro caráter eólico. Em porções superiores, pode apresentar níveis de arenito fino com estratificações plano-paralelas e geralmente silicificado (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015b).

Já a Formação Serra das Araras do Grupo Urucuia está recoberta por depósitos detrítico - lateríticos da cobertura elúvio - coluvionar, aflorando nas encostas da Serra da Mescla e arredores, na bacia do rio Pandeiros. Juntamente com a Formação Posse, a Formação Serra das Araras foi proposta por Campos e Dardenne (1997), ao elevarem a Unidade Urucuia à categoria de grupo. Tem uma espessura entre 80 e 100 metros. É formada por arenitos finos a médios, ferruginosos, normalmente laterizados, mostrando também níveis pelíticos ferruginosos. Em sua base, pode-se observar um nível de conglomerado com seixos de veio de quartzo e quartzito (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015b).

A Formação Serra das Araras tem espessura mínima de 25 metros, e se sobrepõe às Fácies 1 e 2 da Formação Posse. Suas melhores exposições são encontradas na Serra Geral de Goiás e em morros testemunhos no sul da bacia Urucuia. Seu ambiente de sedimentação foi fluvial, em amplas planícies, com grande variação de regime e carga de fluxos. Os processos de tração e suspensão foram predominantes. Houve também contribuição eólica, com grãos transportados pelo vento, sendo possivelmente retrabalhamento das Fácies 1 e 2 da Formação Posse (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

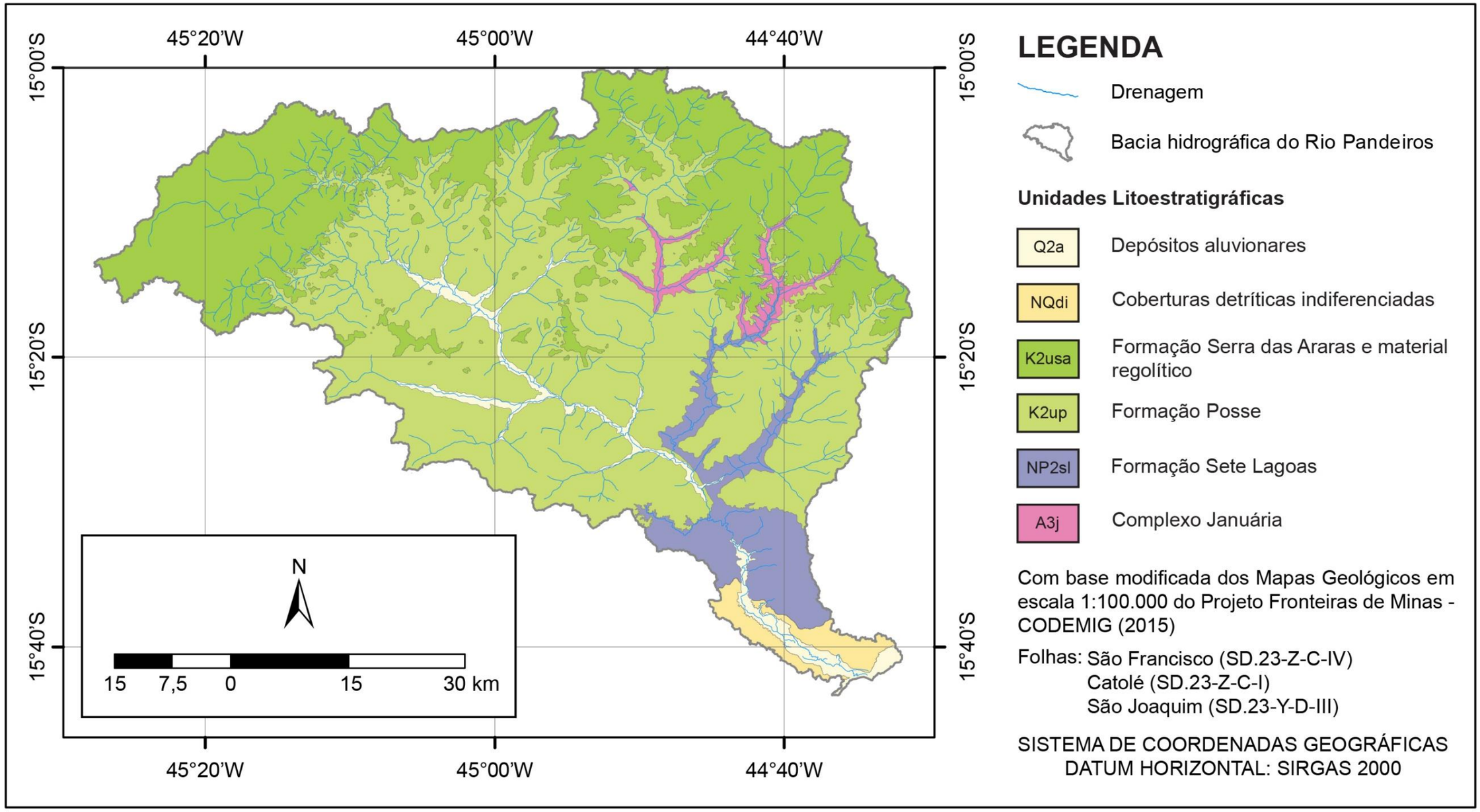
Acima da Formação Serra das Araras estão as coberturas elúvio - coluvionares que existem em grande parte da área, normalmente em áreas mais elevadas, topos de chapadas, segundo Campos e Dardenne (1997). Podem ser classificadas como Formação Chapadão, de idade Cenozoica, no contexto da bacia Sanfranciscana. Esta denominação foi proposta por Ladeira e Brito (1968), correspondendo às coberturas Cenozoicas, predominantemente arenosas da bacia Sanfranciscana, que são também, similares à Formação Cachoeirinha, nas bacias do Paraná e Parecis.

Estas Coberturas elúvio - coluvionares são de idade Neógena, predominando quartzo silto - arenoso avermelhado a amarelado, com grãos finos a médios, (sub) arredondados e esféricos, com grãos de óxidos dispersos, com uma espessura superior a 15 metros. Normalmente ocorrem também carapaças lateríticas ferruginosas nestes depósitos (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015a). São coberturas inconsolidadas, classificadas como aluvionares, coluvionares e eluvionares que podem alcançar a ordem de 20 a 30 metros, sendo que as coberturas eluvionares se distribuem principalmente sobre as chapadas de cotas acima de 800 metros, sendo mais comuns sobre os arenitos do Grupo Urucuia (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

Por fim, os Depósitos Aluvionares são de idade Quaternária, localizados nos fundos de vale dos principais canais de drenagem (Pandeiros, Córrego Pindaibal, Vereda Alegre),

normalmente recobrindo os arenitos alterados da Formação Posse. São sedimentos finos, areno - siltosos, eventualmente com cascalhos associados. Seu pacote é pouco espesso, mas muito variável, alcançando 10 metros (CAMPOS e DARDENNE, 1997), mas no vale do rio Pardo, menor do que 5 metros, embora possuam uma grande largura (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015a). São resultado do retrabalhamento dos canais de drenagem atuais e dos terraços aluviais. (CAMPOS e DARDENNE, 1997). A figura 3 mostra o mapa das coberturas litológicas na bacia do rio Pandeiros.

Figura 3 - Mapa da cobertura litológica da bacia do rio Pandeiros.



Fonte: AUGUSTIN *et al*., 2019/2020.

2.4. Vegetação natural

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros está localizada em uma zona de contato de dois biomas brasileiros: o Cerrado (Savana) e a Caatinga (LOPES *et al.*, 2010), conforme a figura 4. Nesta zona de transição, destaca-se a ecorregião da Mata Seca (Floresta Atlântica Seca, com comportamento decíduo), a qual, devido à escala, não está representada no mapa de biomas (SALES *et al.*, 2009).

Existe uma grande quantidade de produção científica sobre a distribuição da cobertura vegetal na bacia do rio Pandeiros (SALES *et al.*, 2009), principalmente sobre a vegetação ciliar (AZEVEDO, 2010; DE LIMA BRAGA, 2011; DE AZEVEDO *et al.*, 2014) do rio e da área do Pantanal (BARBOSA, 2010; SANTOS, 2016), cuja maior parte está protegida na forma de unidade de conservação estadual como Refúgio de Vida Silvestre do rio Pandeiros.

Na bacia, a vegetação dominante é o Cerrado, sendo as principais fitofisionomias encontradas: o Cerrado ralo (43%), Cerrado típico/Cerradão (23%), Campo limpo (5%) e a Floresta Decídua, também conhecida como "mata seca" (5%), a qual é inclusive considerada como uma ecorregião (SALES *et al.*, 2009), uma vez que, entre estas fitofisionomias, ocorrem algumas espécies de plantas típicas da Caatinga (Fonseca *et al.*, 2008). Conforme se observa no mapa de distribuição da cobertura vegetal existente na bacia do rio São Francisco, (Figura 4) a latitude de 15° S marca o início do bioma Caatinga, principalmente a leste, na margem direta do rio São Francisco.

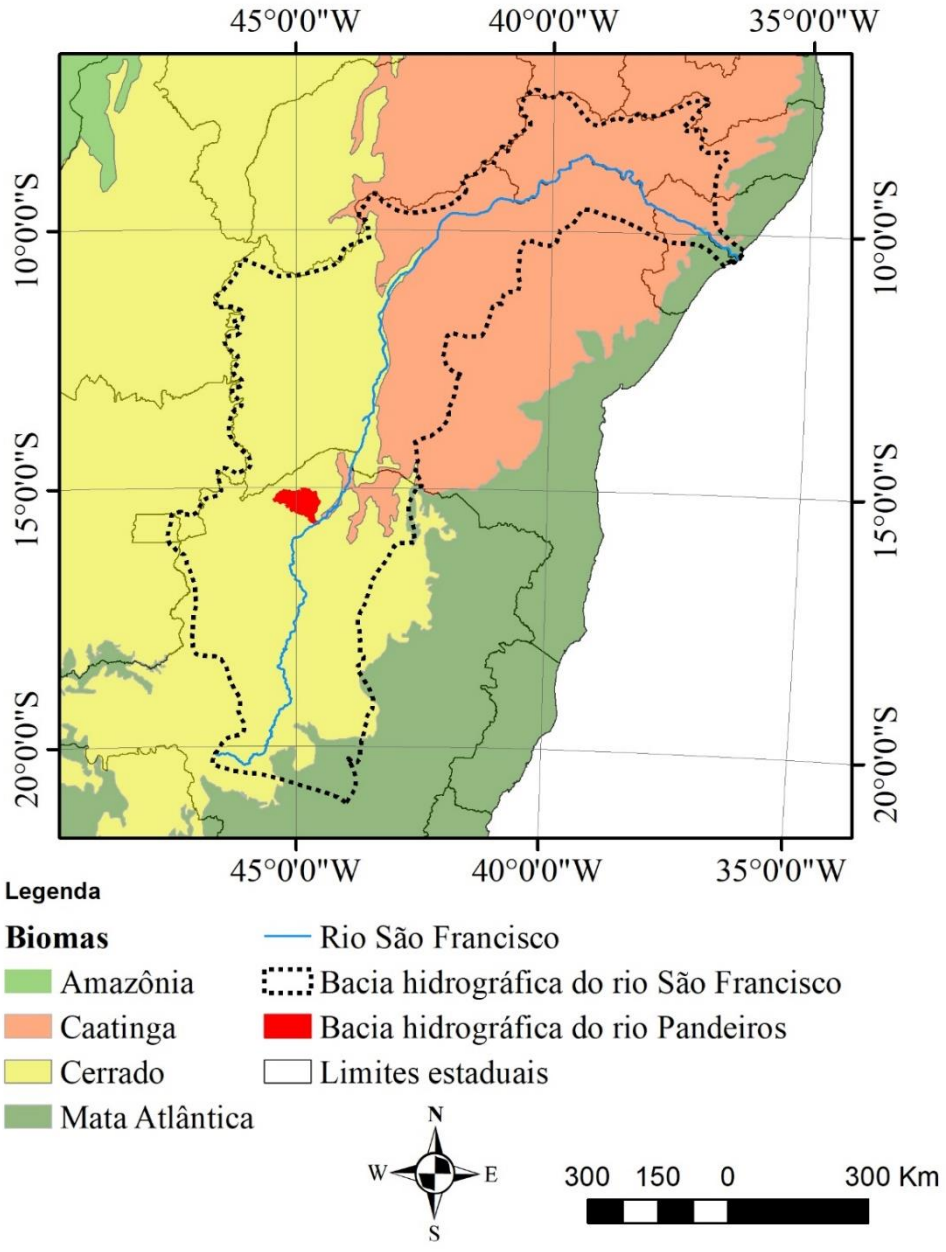
Assim, entendendo-se que existe uma transição de ambientes naturais, principalmente no que se refere à transição de biomas e cobertura vegetal, bem como as características climáticas, as quais podem inclusive variar em termos de escala espacial ao longo do tempo geológico, pode-se inferir que a bacia hidrográfica do rio Pandeiros, bem como a área do seu Pantanal, estão localizadas em uma área de transição do clima tropical úmido-seco para o tropical semiárido (AYOADE, 2004).

A localização em uma área de ecótono, conhecida por apresentar grande potencialidade de biodiversidade, associada à presença de uma *wetland*, que por sua vez, tem como uma de suas principais funções ser refúgio para várias espécies de animais, tornam a área do PRP um espaço com grande potencial de biodiversidade, e que deve ser protegido (SALES *et al.*, 2009; LOPES *et al.*, 2010).

As florestas decíduas, também conhecidas como matas secas, caracterizadas por árvores decíduas no período seco, sendo encontradas sobre material muito drenado, como o calcário,

muitas vezes são incluídas também como pertencentes ao bioma Caatinga (SCOLFORO, 2006). Nas áreas drenadas ao redor do PRP, há uma presença significativa desta fitofisionomia (SALES *et al.*, 2009).

Figura 4 - Mapa de localização da bacia do rio Pandeiros em relação aos biomas brasileiros do seu entorno.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2017
Delimitação dos Biomas do Brasil segundo o IBGE, 2004.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O clima semiárido é caracterizado pela precipitação anual baixa, sendo esta escassez provocada pelas massas de ar em subsidência na região tropical. Neste clima, as taxas de evaporação são muito altas e o valor da precipitação é muito baixo, com pelo menos 250 mm anuais. Este valor é insuficiente para sustentar o crescimento de uma vegetação densa (AYOADE, 2004).

Na Caatinga, o volume de precipitação anual está no intervalo entre 268 mm e 800 mm, onde as chuvas estão concentradas no verão, sendo que durante o inverno a seca é muito prolongada. Sua delimitação vai desde o nordeste de Minas Gerais e o vale médio inferior do rio São Francisco até o Ceará e Rio Grande do Norte (AB'SÁBER, 2012). Ele ocupa cerca de 10% do território brasileiro. É formado por uma associação de espécies xerófitas como cactáceas, bromélias e vegetais lenhosos. No estado de Minas Gerais, existem duas fitofisionomias predominantes, sendo a caatinga arbórea e a caatinga hiperxerófila (SCOLFORO, 2006).

O bioma Cerrado, devido ao seu alto grau de endemismo e muitos impactos ambientais a que vem sendo submetido, é considerado prioritário em termos de conservação, conhecido como *hotspot*. Ele tem sua delimitação condicionada pelo clima e pelo tipo de substrato vegetal. A presença de duas estações bem definidas conforme o regime de precipitações e a amplitude altimétrica variando de 300 m até 1.600 m lhe conferem grandes variações térmicas, possuindo pluviosidade média entre 1.300 mm/ano e 1.600 mm/ano, temperatura média de 20,1°C e a classificação climática, segundo Köppen: Aw e Cwa (RIBEIRO e WALTER, 2008).

Sua extensão é a segunda maior do país (ocupando 23% do território), podendo ser considerado um tipo de Savana, como outras formações da América Tropical, África, sudeste Asiático e da Austrália. A vegetação é formada por árvores, arbustos e gramíneas que variam em sua disposição e concentração, originando diferentes fitofisionomias (RIBEIRO e WALTER, 2008). Segundo estes mesmos autores, existem onze tipos principais fitofisionômicos, divididos em formações florestais, savânicas e campestres. Considerando os subtipos de cada fitofisionomia, são 25 classes ao todo.

As formações savânicas são classificadas em quatro tipos fitofisionômicos: Cerrado sentido restrito, Parque Cerrado, Palmeiral e Vereda. O Cerrado sentido restrito é caracterizado por ter árvores de pequeno porte, inclinadas e tortuosas. Os arbustos são espalhados e os estratos herbáceos e subarbustivos apresentam grande vigor no período úmido (RIBEIRO e WALTER, 2008).

Além destas formações, ocorre nas *wetland*s do Cerrado, as florestas paludosas, os campos úmidos, os brejos e as lagoas colonizadas por espécies adaptadas a ambientes aquáticos, as macrófitas aquáticas (IRGANG e GASTAL JR., 1996; BARBOSA, 2010) distribuídos nos diversos tipos de *wetlands* existentes neste bioma. O termo macrófitas aquáticas é genérico que inclui vegetais superiores, musgos e algas, associadas aos ambientes de *wetlands*, sendo espécies adaptadas ao excesso hídrico. Elas podem ser classificadas em 7 grupos: anfíbia ou semiaquática; emergentes; flutuante fixa; flutuante livre; submersa fixa; submersa livre e epífita (IRGANG e GASTAL JR., 1996).

No PRP elas estão presentes na planície de inundação, principalmente nas lagoas permanentes, no canal principal do rio e em meandros abandonados que possuem água. Quando ocorre a inundação da *wetland*, tais espécies se distribuem sobre todas as lagoas temporárias e sobre as porções mais elevadas do terreno, que muitas vezes não ultrapassam 10 cm de altura, sendo facilmente alagáveis.

3. BASES TEÓRICO - CONCEITUAIS E NOVAS ABORDAGENS TECNOLÓGICAS NA HIDROGEOMORFOLOGIA

3.1. Sobre a Hidrogeomorfologia

A Hidrogeomorfologia foi proposta como ciência por Scheidegger (1973) e vem sendo aperfeiçoada e utilizada desde então, podendo ser entendida como uma integração entre os conhecimentos de Hidrologia e Geomorfologia (SIDLE e ONDA, 2004). Embora seja reconhecida como uma área de estudo, seu suporte metodológico e conceitual ainda permanece em desenvolvimento (GOERL *et al.*, 2012).

Durante muito tempo, a Geomorfologia foi entendida apenas como a ciência que estuda as formas de relevo (GOUDIE, 2004) e suas interações (CHRISTOFOLETTI, 1980; CASSETI, 1994; SUMMERFIELD, 2013). Contudo, atualmente a Geomorfologia não se atém apenas na descrição das formas, mas também na análise dos materiais somando-se ainda os processos que ocorrem no relevo, superficial e subsuperficialmente, considerando que várias transformações podem ocorrem no relevo em uma escala espaço-temporal (MELO *et al.*, 2005).

Para a análise e entendimento das interações que ocorrem sobre o relevo e o modificam, a Geomorfologia muitas vezes recorre à instrumentalização e ao conhecimento teórico de outras ciências (CLAYTON, 1971; PENTEADO, 1980; GOUDIE, 1981; PITTY, 1982; GARDINER e DACKOMBE, 1983). A Geomorfologia recebe, por exemplo, contribuições da Hidrologia, da Climatologia, da Meteorologia, da Física, da Geofísica, da Geologia, da Química e da Biologia, (PENTEADO, 1980; SUMMERFIELD, 2013; VILES, 2016).

As formas de relevo refletem a interação entre a estrutura geológica, as atividades endógenas e as dinâmicas atmosférica, hidrológica, glaciológica, biológica e a antrópica (STRAHLER, 1952; CHORLEY, 1962; TRICART e CALIEUX, 1972; PENTEADO, 1980; MELO *et al.*, 2005; HUGGET, 2007; BIERMAN e MONTGOMERY, 2013). O relevo é um produto destas interações e na maior parte desta superfície, a água está presente e assume o papel de um agente extremamente ativo no processo de desenvolvimento das formas de relevo (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Por exemplo, nos estudos de Geomorfologia fluvial, de vertentes, glacial, periglacial, cárstica e costeira, a água em seus vários estados da matéria, é um agente primordial (SUMMERFIELD, 2013). É partir desta percepção que foi proposto o termo Hidrogeomorfologia (SCHEIDEGGER, 1973).

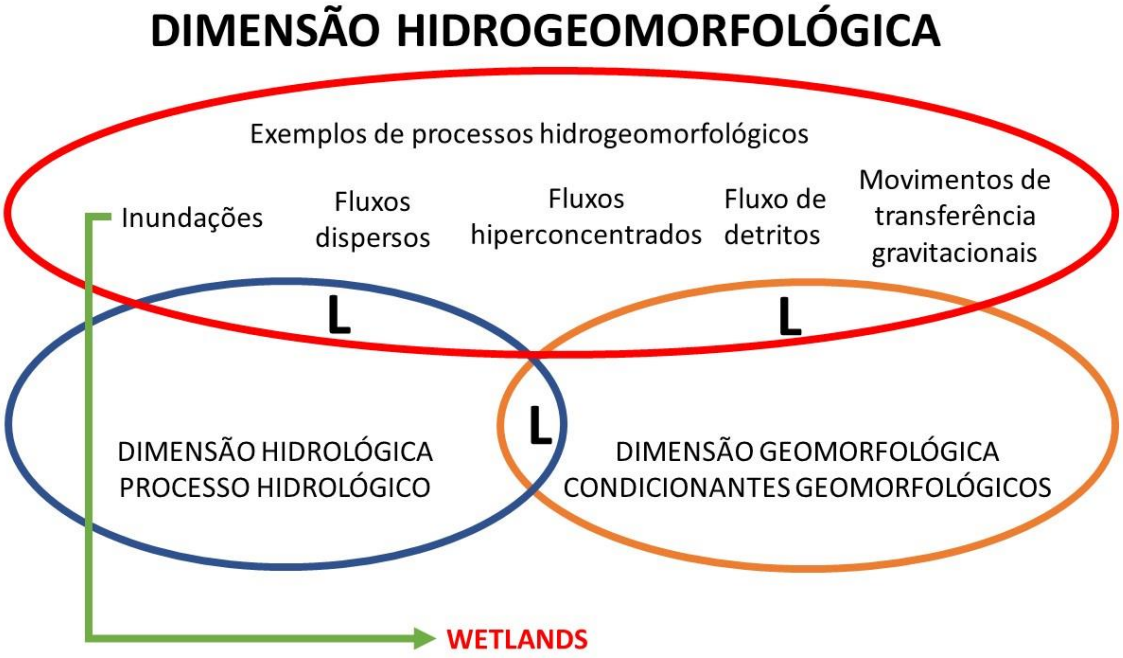
Para Scheidegger (1973) ela é o estudo das formas de relevo causadas pela ação da água, o que a torna um conceito muito amplo e sem um critério específico que possa separar sua análise das demais ciências. Goerl *et al.* (2012), no entanto, admitem que a abordagem hidrogeomorfológica permite a compreensão da interação entre os processos hidrológicos e os processos de formação do relevo e da paisagem, possibilitando entender como aqueles influenciam nestas formas. Por outro lado, esta também inclui o entendimento inverso, ou seja, de como as formas de relevo influenciam de alguma forma os processos hidrológicos que ocorrem em determinada área, sendo que estas análises podem ocorrer em diversas escalas tanto temporais, quanto espaciais. Não é sem razão, portanto, que Sidle e Onda (2004) consideram que o conceito da Hidrogeomorfologia ainda está em construção.

A partir dessa discussão, percebe-se que a atuação dos processos hidrológicos que resultam em alterações na paisagem, o que, por sua vez, condiciona os próprios fluxos hidrológicos que as formas do relevo possam causar, podem ser entendidos como o objeto de estudo da Hidrogeomorfologia, sendo reconhecidos como processos hidrogeomorfológicos (GOERL *et al.*, 2012).

Estes processos são aceitos, portanto, como objeto de estudo, tendo como base a noção fundamental de que a Hidrogeomorfologia forma a base da análise da influência de como os processos hidrológicos podem chegar a modificar ou compor superfícies ou formas de relevo, as quais, uma vez formadas, ou ainda em constante transformação, acabam também alterando os processos hidrológicos em uma ou várias dimensões como a sua intensidade, magnitude ou duração em uma escala temporal. Os principais processos hidrogeomorfológicos, sem exclusão de outros, são: os processos dispersos de retirada dos materiais, os fluxos hiper concentrados, os causados por movimentos de transferência gravitacional, as inundações e os fluxos de detritos (GOERL *et al.*, 2012), sendo que as principais pesquisas relacionadas ao tema estão vinculadas de uma maneira geral, aos riscos de desastres naturais (SIDLE e ONDA, 2004).

A figura 5 ilustra como a dimensão dos processos hidrogeomorfológicos ocorre em função das características hidrológicas e geomorfológicas, as quais possuem interseções entre si. A partir destas ideias, pode-se entender que as *wetland*s, principalmente as localizadas no interior continental, seriam resultado destes processos também, como várias classificações e abordagens permitem este entendimento (BRINSON, 1993; SEMENIUK, 1995; LISENBY *et al.*, 2019).

Figura 5 - Interações entre a Hidrologia, Geomorfologia e Hidrogeomorfologia.



A Letra L na imagem representa os limites de interação entre as ciências da Hidrologia, Geomorfologia e Hidrogeomorfologia, que ainda estão em desenvolvimento. Ainda é proposta a *wetland* como paisagem resultante do processo hidrogeomorfológico dos pulsos de inundação.
Fonte: Adaptado de GOERL *et al.*, 2012.

É a partir desta integração entre os processos hidrológicos e as formas de relevo, que se influenciam retroativamente durante a evolução da paisagem que se busca entender o PRP como sendo formado pelas configurações geomorfológicas da bacia de drenagem do rio Pandeiros, da área do Pantanal, compreendendo as vertentes e a planície de inundação, bem como a bacia do rio São Francisco considerando a região à montante da foz do rio Pandeiros.

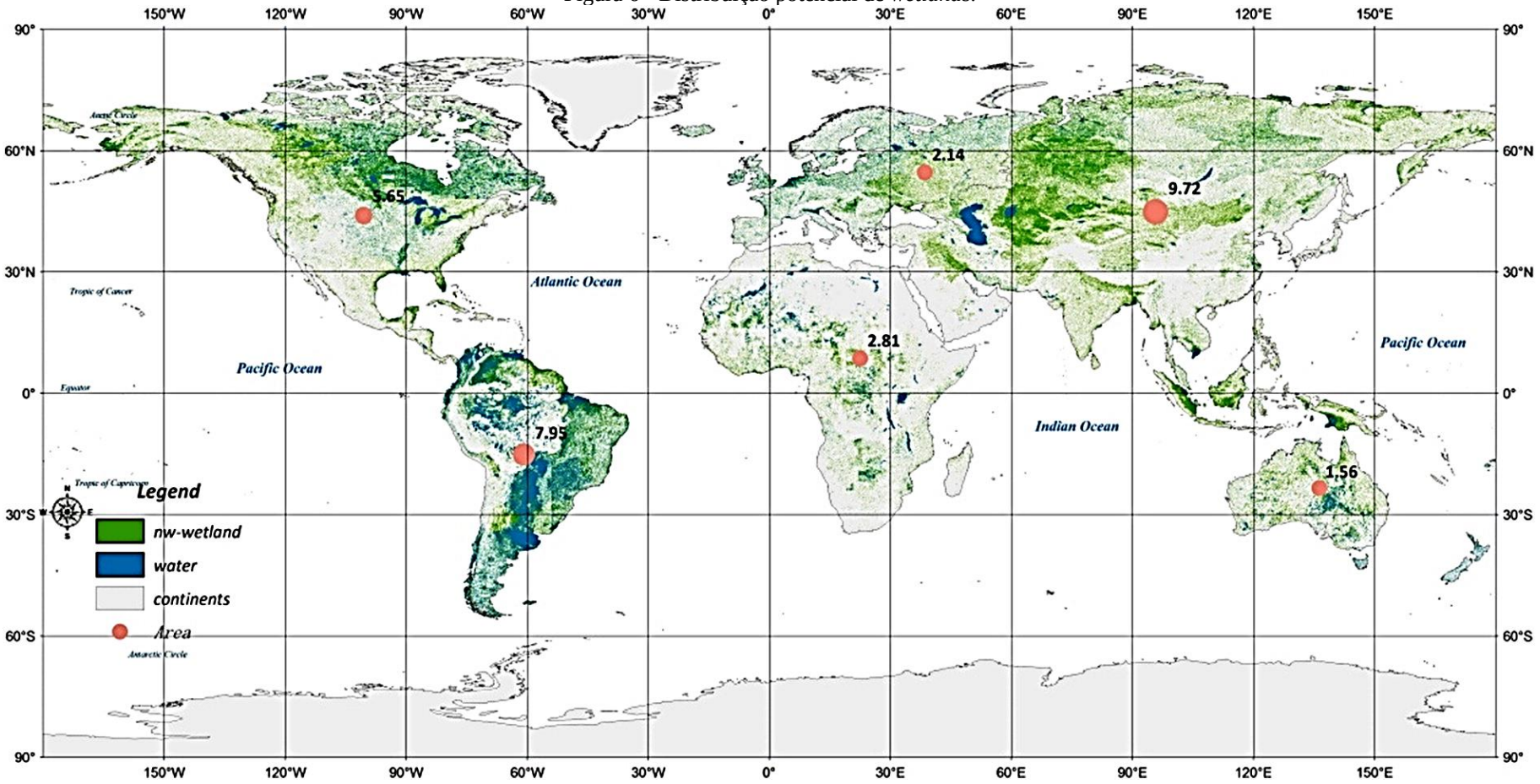
3.2. Sobre as *wetland*s

As *wetlands*, como são conhecidas internacionalmente, poderiam ser traduzidas para o português como zonas úmidas ou áreas úmidas. Como já foi explicado no Capítulo 1, da Introdução, neste trabalho será utilizado o termo *wetlands.* Existem muitos conceitos e definições sobre esta paisagem e muitos deles, apesar de serem complementares, não conseguem abarcar todas as configurações do meio físico em que podem ocorrer. Por isso, como este trabalho visa analisar uma área úmida brasileira, a definição desta pode ser considerada como:

> Áreas Úmidas (AUs) são ecossistemas na interface entre ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanentemente ou periodicamente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica.
> AUs devem possuir (1) presença, pelo menos periodicamente, de espécies de plantas superiores aquáticas ou palustres, e/ou (2) presença de substrato/solo hídrico (CUNHA *et al.*, 2015, p. 37).

Em escala mundial, as *wetlands* ocupam grandes áreas na superfície da Terra chegando à estimativa de até 29,83 milhões de Km^2 (MITSCH e GOSSELINK, 2007). No planeta, elas estão localizadas principalmente na região tropical, entre os paralelos 10° N e 10° S, e nas médias - altas latitudes do hemisfério Norte, entre 40° N e 60° N (HU *et al.*, 2017), conforme a figura 6.

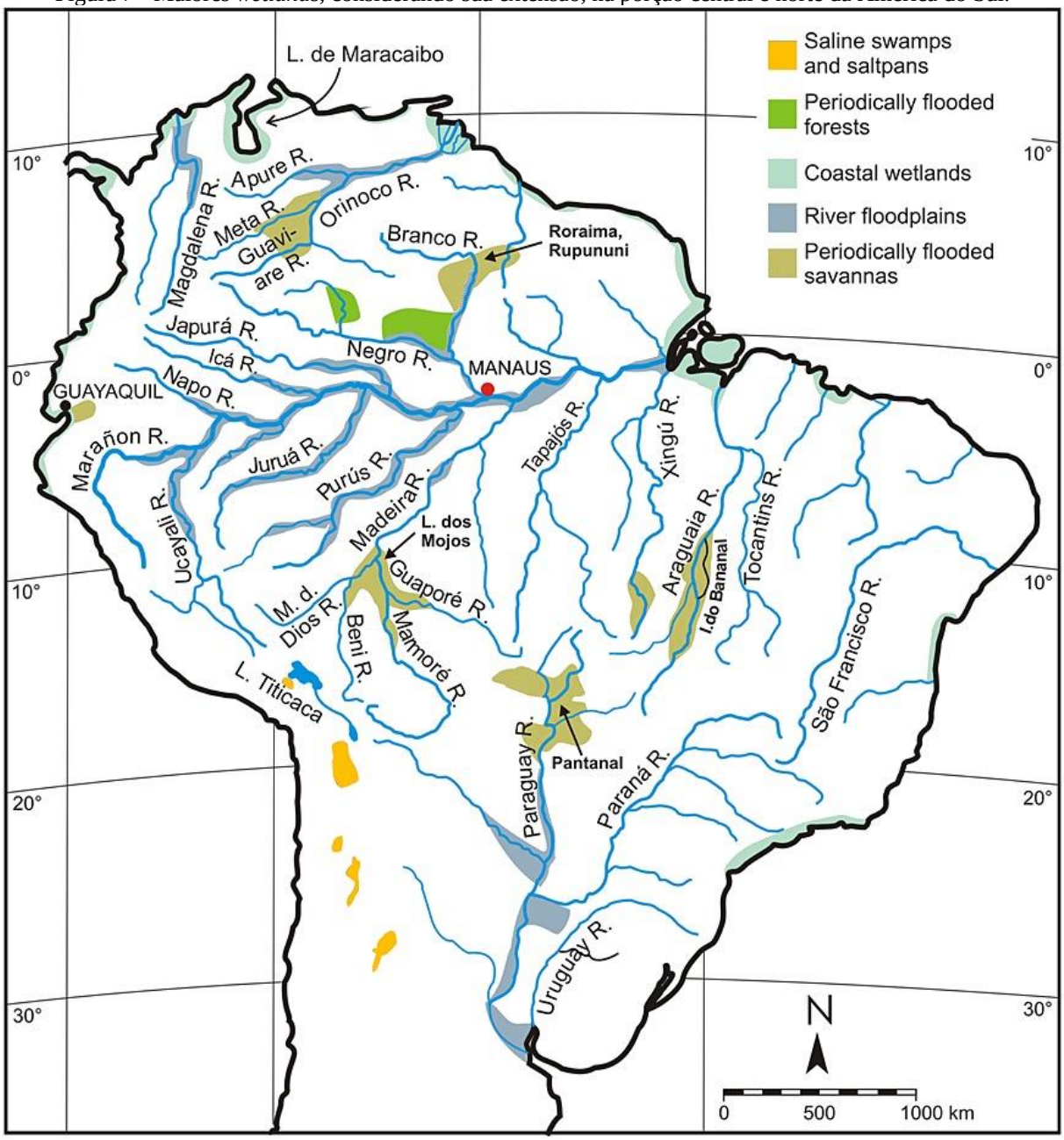
Figura 6 - Distribuição potencial de *wetland*s.



Unidade de área: milhões de Km^2.
Fonte: HU et al., 2017.

Embora possuam variação de tamanho e tipologias em função do total anual e frequência de chuvas, da altitude e do relevo plano (INAU, 2014; JUNK *et al.*, 2014), estima-se que 20% do território brasileiro (Figura 7) possa ser classificado como *wetland* (JUNK *et al.* 2011).

Figura 7 - Maiores *wetland*s, considerando sua extensão, na porção central e norte da América do Sul.



Fonte: JUNK, 2007.

Enquanto *wetlands* permanentemente úmidas apresentam tamanho pequeno no Brasil, os sistemas úmidos com período de inundação temporários, presentes em todos os biomas, tem uma distribuição ampla nas áreas de Cerrado, onde compõem um mosaico de paisagens que se diferencia do entorno durante a alternância entre as estações úmida e seca. Conforme o regime

de flutuação do nível freático, as *wetlands* apresentam grande variação em área com solos sazonalmente encharcados (JUNK *et al.*, 2014).

Elas fornecem inúmeros serviços ambientais ao meio ambiente, sendo conhecidas até mesmo como os “rins da paisagem”, devido ao seu papel de circulação e limpeza da água onde se situam. Provocam também a regularização do fluxo de água superficial, durante o período de seca, e subterrânea por meio de recarga, bem como o seu armazenamento, a melhoria da qualidade da água, principalmente no que se refere a filtragem de poluentes, além da proteção à erosão da área onde estão localizadas (MITSCH e GOSSELINK, 2007; HU *et al.*, 2017; LISENBY *et al.*, 2019).

Particularmente quando se trata do tema das mudanças climáticas, as *wetlands* são consideradas como ambientes muito mais suscetíveis do que os demais, pois são formadas por grandes depósitos dos principais elementos que formam os gases de efeito estufa, principalmente na forma de MO como o carbono, metano e o óxido nitroso (MIAO *et al.*, 2017). Também, localmente, possuem uma grande capacidade de evapotranspiração (HU *et al.*, 2017), o que significa que qualquer alteração nestas áreas pode modificar o ciclo natural destes elementos, como o carbono, sobre o qual estima-se que, somando todos os estoques existentes nas *wetlands* do planeta, equivalham a 100 anos, ou mais, das emissões atuais de combustíveis fósseis (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

É preciso ressaltar que não apenas as grandes *wetlands* consideradas em sua extensão, mas também as pequenas, conhecidas no Brasil sobre várias nomenclaturas, como: brejo, buritizal, lagoa, mata ciliar, mata ripária, mata galeria, mata turfosa, mata paludosa, nascente, olho d’água, pântano, pantanal, turfeiras, vargem, varjão, várzea, vereda e as próprias lagoas marginais são muito importantes como estoques de sedimentos ricos em MO. Dado a sua multiplicidade e frequência que ocorrem no território, podendo ser significativas quando se entende o papel da preservação destas áreas, dada sua função como retenção de sedimentos e fornecimento de água (CUNHA *et al.*, 2015; TRINDADE, 2016; GOMES, 2017).

As *wetlands* têm sido objeto de atenção, interesse e pesquisa desde a década de 1970, sendo que um dos principais motivos que despertaram este interesse foi a sua destruição e desaparecimento, com reflexos sobre a redução da quantidade e qualidade dos recursos hídricos a elas associados, justificando a necessidade de sua conservação e restauração (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

O interesse da comunidade científica internacional tem sido cada vez mais crescente dado a sua importância e, paradoxalmente, o seu grau de degradação. Apesar de todo o

interesse, ainda muito pouco se sabe sobre o *status* das áreas remanescentes, pois estas são muito influenciadas pelas alterações do seu entorno, bem como pelas modificações em escala global, como as conhecidas mudanças climáticas (MITSCH e GOSSELINK, 2007; HU *et al.*, 2017). Na década de 1970, a destruição destes ambientes ocorria principalmente por meio da sua drenagem e desmatamento da cobertura vegetal natural. Essas práticas eram, inclusive, apoiadas por políticas públicas que ocorriam no mundo todo, incluindo no Brasil, em todos os seus biomas, e principalmente no Cerrado (DE OLIVEIRA e ROSOLEN, 2014; JUNK *et al.*, 2014).

A destruição destes ambientes era feita para a implantação de agricultura, uso comercial ou residencial, sendo, portanto, de causas eminentemente antrópicas (HU *et al.*, 2017). O ritmo e as causas desta destruição ocorrem até hoje, em vários países, o que levou à uma perda mundial, em longo termo, entre 54% e 57% das áreas e de 33% somente a partir de 2009 (HU *et al.*, 2017). As maiores perdas de *wetlands* ocorreram nos continentes da Ásia e Europa. Localmente, como na Nova Zelândia, Califórnia e Ohio nos Estados Unidos, houve uma perda de até 90% das *wetlands* existentes (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Na América do Sul, há uma grande escassez de pesquisas de inventários sobre as *wetlands*, bem como trabalhos sobre a quantificação de perdas que já ocorreram (HU *et al.*, 2017), mas estima-se que ela tenha sido de 32% contabilizado apenas entre 2009 e 2017.

Essas estimativas são, no entanto, insatisfatórias tendo em vista a enorme variedade de tamanho entre as *wetlands*, o que leva a um problema de escala na análise destas áreas, principalmente se tratando de ações visando sua conservação. A perda de grandes parcelas é, geralmente, facilmente perceptível através de imagens e mapeamentos. Mais comumente, ocorre, no entanto, a perda de pequenos espaços ao longo do tempo, em um processo chamado de perda cumulativa, que não é facilmente percebida devido à escala de análise destas áreas (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

As principais ameaças às *wetlands* brasileiras de acordo com Junk *et al.*, (2014), são: a drenagem pela agropecuária, poluição por esgotos, resíduos domésticos, industriais e de mineração, construção de barragens e diques e as mudanças climáticas globais. Associado a estes impactos, o INAU (2014) chama a atenção para o fato de que não há legislação específica que regule a proteção destas áreas, o que também é um dos maiores riscos à sua existência e degradação.

Do total de pesquisas realizadas sobre *wetlands* no mundo, poucas são as que têm buscado analisar suas propriedades e funções comuns (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Um

dos principais problemas existentes na identificação das pesquisas produzidas é justamente encontrar uma única definição para as *wetlands*, pois muitas vezes os conceitos empregados podem ser confusos ou contraditórios, apesar destas terem a sua importância reconhecida. Isto vem desde a década de 1970, quando não havia uma grande preocupação na definição precisa para o conceito de *wetlands*. Com o passar do tempo, foi tornando-se necessária uma definição mais precisa para o termo *wetland*, em função de inventário das diferentes tipologias de áreas existentes (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

O tema da definição científica das *wetlands* tem, no entanto, uma repercussão muito importante para a ciência e para a sociedade, pois é partir da definição do termo que pode ser feita a delimitação das áreas a serem classificadas como *wetlands* ou não. Devido às diversas configurações destes ecossistemas, a tarefa de conciliar apenas uma definição que sirva para identificar todas as outras na superfície da Terra, torna-se complexa (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Isto é, contudo, importante como o primeiro passo para que a sociedade possa também reconhecer estes ambientes por meio, por exemplo, da criação de leis que protejam a dinâmica natural existente em cada tipo de *wetland*, evitando, assim, a sua perda progressiva (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

Normalmente no Brasil, a discussão sobre as *wetlands* ressalta as categorias espaciais individualmente, como as veredas, as várzeas, os igapós, os brejos, deixando em segundo plano a importância que elas têm em comum. Coletivamente, estas áreas são consideradas pela população e pelo Poder Público como isentas de valor econômico, ecológico e social. Raramente são consideradas ou integradas harmonicamente em projetos de expansão urbana ou agrícola, resultando em degradação e perda de funcionalidade, quase sempre de forma irreversível ou de difícil mitigação (MITSCH e GOSSELINK, 2007; DE OLIVEIRA e ROSOLEN, 2014).

Um dos grandes desafios à gestão das *wetlands* no Brasil é com relação à legislação ambiental que deveria protegê-las. A Lei Federal 12.651 de 2012 não aborda estas áreas em suas especificidades, traz indefinições e retrocessos em relação a sua delimitação, o que possibilita, visto a dificuldade de sua implementação, a conversão do uso destas paisagens e, assim, à sua degradação (DE OLIVEIRA e ROSOLEN, 2014; GRASEL *et al.*, 2019). Por exemplo, estas paisagens são definidas como zonas úmidas conforme o artigo 1 do Anexo do Decreto Federal 1.905 de 1996, que adota no Brasil a Convenção de Ramsar:

> Para efeitos desta Convenção, as zonas úmidas são áreas de pântano, charco, turfa ou água, natural ou artificial, permanente ou temporária,

> com água estagnada ou corrente, doce, salobra ou salgada, incluindo áreas de água marítima com menos de seis metros de profundidade na maré baixa (BRASIL, 1996).

Já o texto da Lei Federal 12.651, de 2012, que apresenta a mais nova versão do Código Florestal, quando faz referência às áreas úmidas, no artigo 3º, inciso XXV, traz uma definição diferente: "áreas úmidas: pantanais e superfícies terrestres cobertas de forma periódica por águas, cobertas originalmente por florestas ou outras formas de vegetação adaptadas à inundação" (BRASIL, 2012). A definição adotada no texto do Código Florestal brasileiro é ainda menos abrangente, fazendo referência apenas a pântanos e superfícies cobertas periodicamente por águas, e cobertas por vegetação adaptada à inundação (ROSOLEN *et al.*, 2015; GOMES e MAGALHAES JÚNIOR, 2018).

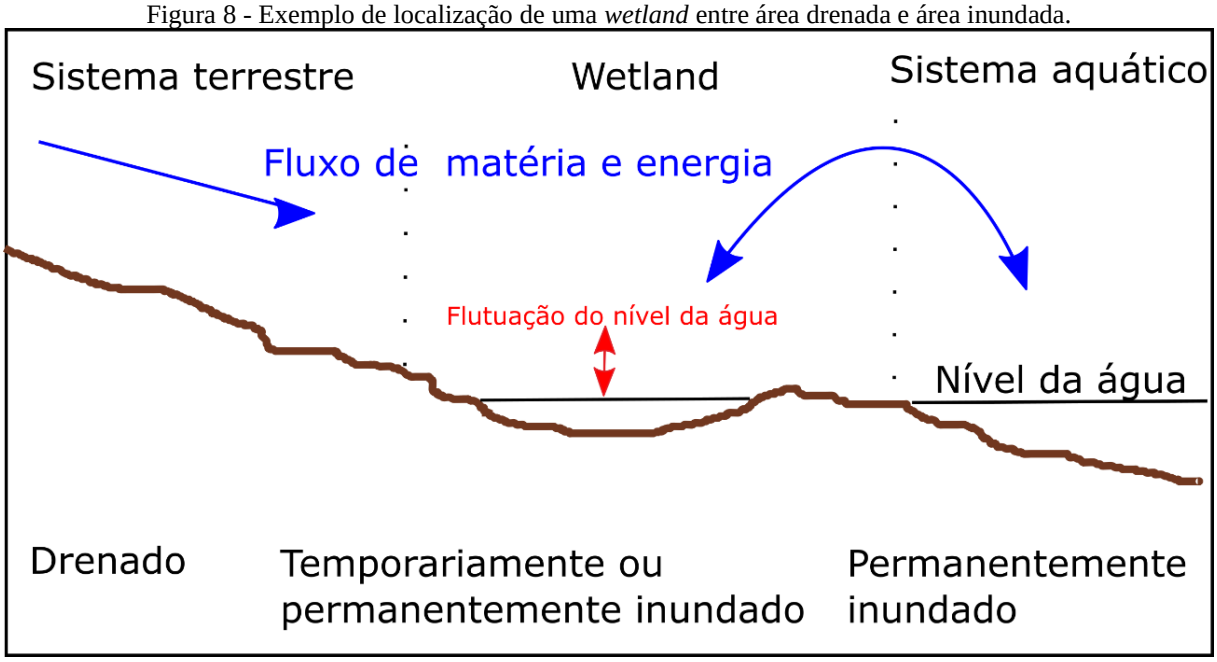
Esse fato, não coaduna com a importância do tema, dificultando seu estudo e a ampliação do conhecimento de maneira a subsidiar e promover ações e políticas mais eficientes voltadas para a conservação das *wetlands*. Pesquisas realizadas em diferentes tipologias de *wetlands* no mundo, por exemplo, indicam uma grande importância do fluxo hidrológico para a existência da dinâmica destes ecossistemas. (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Para Augustin *et al.* (2009), o entendimento da dinâmica entre as condições superficiais e subsuperficiais, a ocorrência e manutenção da água nos sistemas de veredas, que são *wetlands*, também ainda não é completo. Segundo estes autores, estas depressões podem ocorrer em várias porções das bacias de drenagem, mas sempre em ambiente úmido e de baixa energia hidráulica, onde geralmente estão presentes uma camada superficial de alta permeabilidade, seguida de uma camada subsuperficial impermeável, parecendo ser estas condições essenciais à sua existência (VIANA *et al.*, 2015). Em outras pesquisas realizadas no meio tropical, o desenvolvimento de depressões que formam *wetlands* pode estar relacionado com o intemperismo químico (FILIZOLA e BOULET, 1996; ROSOLEN e HERPIN, 2008). Neste caso, as *wetlands* são constituídas por geocoberturas com propriedades hidromórficas que se distribuem na paisagem em conjunto com os solos bem drenados, associadas também com estas áreas de depressão (ROSOLEN *et al.* 2019).

Mitsch e Gosselink (2007) concordam com o fato de que as condições hidrológicas existentes em cada *wetland* são determinantes para caracterizar a estrutura e função de cada ecossistema. Estas condições são formadas pelas características da água superficial, subterrânea, as propriedades químicas da água, dos sedimentos, os solos eventualmente existentes e como se dá a interação água-sedimento. A questão da definição das *wetlands*

envolve também problemas relativos à sua localização e às diversas configurações hidrológicas existentes nos vários ambientes do planeta. Isto, porque a dinâmica hidrológica existente é alterada, ou mantida, de acordo com as características físico-químicas do ambiente formando os sedimentos ou solos, que por sua vez, influenciam também a circulação hidrológica (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Esta variação de configurações que leva à formação das *wetlands* ainda pode encontrar outras características que variam de local para local, dificultando ainda mais a adoção de um único conceito para as áreas úmidas no planeta (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

Mitsch e Gosselink (2007) apontam que as *wetlands* normalmente encontram-se localizadas entre dois sistemas diferentes: o terrestre (como terras altas em florestas ou pastagens) e o sistema aquático (como um lago profundo, ou no litoral). A *wetland* seria, portanto, uma área de transição, de interface entre estes dois ecossistemas, formando condições específicas nesta transição, como um terceiro ecossistema, discriminado dos demais (Figura 8).

Figura 8 - Exemplo de localização de uma *wetland* entre área drenada e área inundada.



Fonte: Adaptado de Mitsch e Gosselink, 2007.

Por se encontrar na transição entre eles, as *wetlands* são dependentes das condições de dinâmica hídrica e das características de ambos sendo, por isso, suscetíveis a quaisquer alterações antrópicas que ocorram no seu entorno (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Segundo estes autores, as *wetlands* também podem ser encontradas em espaços mais elevados e aparentemente isolados na superfície (Figura 8). Mesmo nesta situação, podem estar ligados ao sistema aquático por meio de um aquífero. HU *et al.* (2017) também associam a dificuldade na

definição das *wetlands* ao fato de constituírem uma transição natural entre os sistemas terrestres e aquáticos, sendo a água o fator mais importante para a sua evolução, embora a topografia e clima determinam a sua distribuição espaço-temporal.

Mitsch e Gosselink (2007) propõem, então, três condições para a caracterização das *wetlands*:

1) todas têm uma cobertura de água, mesmo que rasa, ou a existência de solos saturados na superfície ou muito próximo a ela;

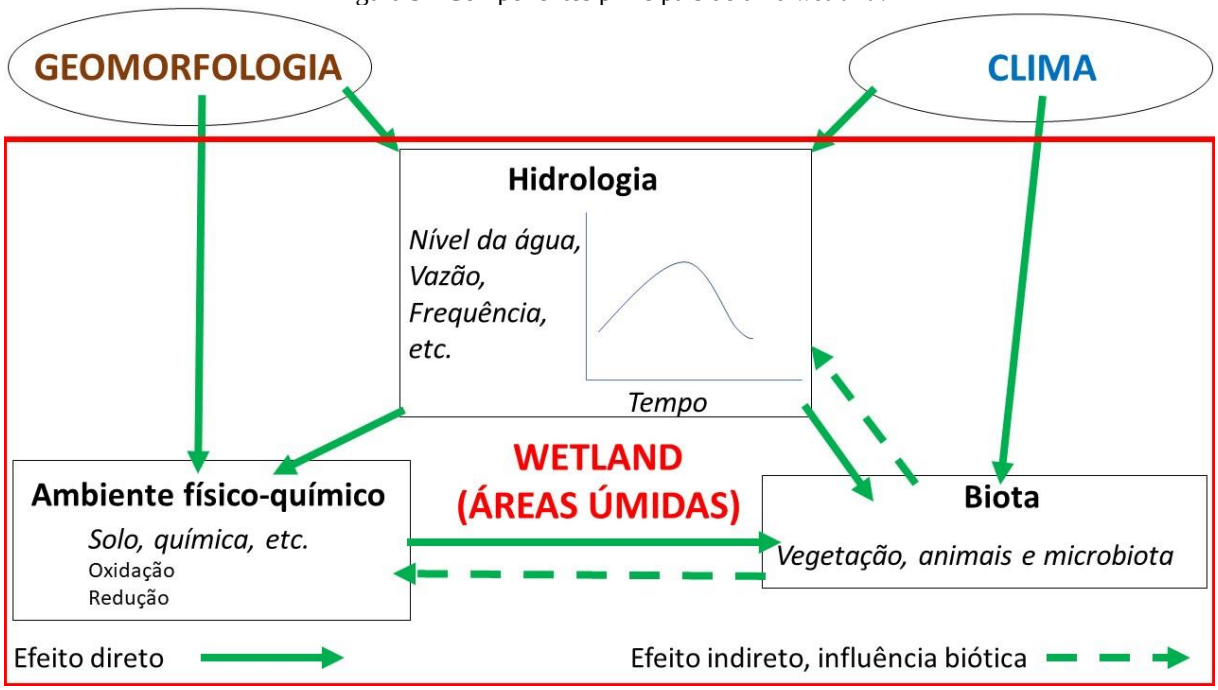
2) todas acumulam MO, por exemplo da decomposição de plantas, que se decompõem lentamente;

3) todas suportam uma variedade de plantas e animais adaptados às condições de saturação por água.

Dessa maneira, para ser considerada uma *wetland*, a feição deve ter uma circulação hidrológica muito intensa próxima, e muitas vezes acima, da superfície ou, pelo menos, da *root zone*. Isto, porque esta condição de hidromorfismo impõe às geocoberturas, características diferentes das existentes nas terras altas ao redor. Também a vegetação existente neste ambiente deve estar adaptada à alta umidade (hidrófitas, por exemplo), inexistindo, muitas vezes, plantas intolerantes à inundação (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

Apesar de haver um consenso sobre a importância da presença do hidromorfismo para a caracterização da *wetland*, há uma grande diversidade de paisagens nas quais elas ocorrem. Entre elas, está sua localização embora, normalmente, elas tendam a ocorrer nas margens de corpos de água mais profundos e terras mais elevadas, elas são influenciadas pelas intensidades e magnitudes diferentes de uma tipologia para outra, por estes dois sistemas (MITSCH e GOSSELINK, 2007). Além destas três características fundamentais para a definição das *wetlands*, Mitsch e Gosselink (2007) chamam a atenção para as configurações de clima e geomorfologia, que também definem as características particulares que cada *wetland* possui (Figura 9).

Figura 9 - Componentes principais de uma *wetland*.



Fonte: Adaptado de Mitsch e Gosselink (2007).

Isto porque os padrões de clima, geomorfologia, sua profundidade, além da duração e frequência dos episódios de inundação variam muito de uma *wetland* para outra e até mesmo de um ano para outro, de acordo com as oscilações climáticas ao longo do tempo. A frequência das inundações não é a mesma nas florestas de terras baixas que passam a maior parte do ano secas, mas são sazonalmente inundadas; estas se diferenciam das áreas de mangues, por exemplo, que tem inundações diárias, além de permanecerem inundadas a maior parte do ano (MITSCH e GOSSELINK, 2007).

As condições hidrológicas em uma *wetland*, como o nível e vazão da água, têm assim, uma grande variação ao longo do tempo, cuja frequência irá depender de cada *wetland*. Estas variações afetam diretamente o regime e tipo de acumulação de MO e inorgânica, o que pode caracterizar as propriedades do meio físico e químico das áreas das *wetlands* (MIAO *et al.*, 2017). As condições hidrológicas e do meio físico também afetam os tipos de espécies vegetais e sua distribuição ao longo da área da *wetland*. Eventualmente, as características da cobertura vegetal podem contribuir ou influenciam as condições da hidrologia e do meio físico, como um sistema retroativo (Figura 09).

O intemperismo disponibiliza material para ser erodido e transportado das áreas drenadas das vertentes que pode ser depositado, a curto ou longo prazo, em um processo complexo de circulação de matéria, ao longo das bacias de drenagem. Neste processo, as configurações geomorfológicas das bacias, ou mesmo de uma planície de inundação,

condicionam a dinâmica de movimento da matéria e da energia (Figura 09). Como estas características variam espacialmente ao longo da bacia, podem formar vários compartimentos, diferentes entre si, acelerando ou reduzindo a circulação dos materiais, conferindo dinâmicas diferenciadas para os materiais que estão em movimento, além da possibilidade de atuação de outros agentes sobre eles (BRIDGE e DEMICCO, 2008; CARVALHO, 2008). Estes são constituídos de particulados como areia, silte, argila e MO. O provimento e o transporte para os rios são determinados pelo uso do solo, clima, hidrologia, topografia e geologia. A quantidade e a qualidade dos sedimentos nos sistemas fluviais dependem das atividades socioeconômicas e das condições biofísicas da bacia (SALOMONS, 2005).

A presente abordagem para as *wetlands*, busca entender como os condicionantes geomorfológicos e a atuação dos processos hidrogeomorfológicos, entendidos como todos aqueles atuando na superfície e no regolito (AUGUSTIN *et al*., 2019), atuam sobre elas. Essa abordagem é considerada fundamental na realização desta pesquisa, pois se entende que o PRP pode ser considerado uma *wetland*. Apesar de não haver consenso na literatura sobre um conceito comum para elas, existe um entendimento de que a dinâmica hídrica, a vegetação adaptada à umidade e a presença ao menos de solos hidromórficos são componentes essenciais para sua configuração, apesar de possuírem diferentes frequências e intensidades na interação destes componentes. Parte-se também do princípio de que, enquanto permanecerem as configurações para a ocorrência destes processos hidrogeomorfológicos, a *wetland* terá resiliência, possuindo uma dinâmica própria (TOOTH, 2018).

A partir do entendimento de quais são os principais componentes de uma *wetland* e de suas interações diretas e indiretas, pode-se considerar que a relação entre as condições geomorfológicas e climáticas que conferem a formação da *wetland* e de sua dinâmica, formando uma paisagem singular, diferenciada das áreas drenadas e das áreas inundadas, pode ser correlacionado com o conceito de Hidrogeomorfologia (SCHEIDEGGER, 1973; GOERL *et al.*, 2012), entendendo-se a *wetland*, incluindo suas formas de relevo, como produto de processos hidrogeomorfológicos, a partir da inundação (Figura 5).

Por possuírem uma grande importância para o meio ambiente, como bem como para o planejamento de ações relativas às mudanças climáticas, para a biodiversidade, a hidrologia e até para a saúde humana (LISENBY *et al.*, 2019), elas sugerem uma abordagem multidisciplinar. Eventualmente, podem se desdobrar em um ramo do conhecimento, formando especialistas em *wetlands*, o que segundo Mitsch e Gosselink (2007) seria uma estratégia desejável para a gestão e entendimento destas paisagens. Para estes autores, deveria haver uma

formação de profissionais voltados para a ecologia das *wetlands*, outra para a sua gestão e até mesmo uma voltada para a reconstrução destes ecossistemas.

3.3. Importância dos pulsos de inundação para as *wetlands* continentais

As *wetlands* possuem uma grande variabilidade de características ambientais. Contudo, existem poucas informações a respeito das *wetlands* temporárias localizadas em planícies de inundação. Também, sobre como os mecanismos hidrogeomorfológicos afetam a composição e a estrutura destas áreas, de modo que elas ainda não estão suficientemente bem compreendidas (KRÖGER, 2010; SILIO-CALZADA *et al.*, 2017; LISENBY *et al.*, 2019).

Para Junk *et al.* (2014), grande parte das *wetlands* localizadas no interior continental da América do Sul é temporária e depende da umidade disponibilizada durante a estação das chuvas (ALHO e SABINO, 2012). A maior quantidade de precipitação que ocorre nesta região encontra-se concentrada durante alguns períodos do ano conhecidas internacionalmente como monções (LATRUBESSE *et al.*, 2005; MARENGO *et al.*, 2012; IVAN BERGIER *et al.*, 2018). Estas podem ocorrer na forma da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zona de Convergência de Umidade (ZCU) ou Zona de Convergência Intertropical (ZCI) (MARENGO *et al.*, 2012; SYVITSKI, 2014).

Quando ocorrem, estas precipitações elas têm como característica abrangência regional e duração limitada, mas que pode variar de dias a semanas, e gerar um grande acumulado de chuvas, normalmente se deslocando em diferentes velocidades (MARENGO *et al.*, 2012). Toda a água não evaporada, irá infiltrar ou escoar em direção aos rios que canalizam este fluxo rumo aos principais canais de drenagem, como é o caso dos rios Amazonas, São Francisco, Paraná entre outros (SYVITSKI, 2014).

A depender do volume de água, da duração das precipitações e da localização destas, os níveis dos rios situados sob a atuação do sistema de monções irão aumentar proporcionalmente a jusante, em suas respectivas bacias hidrográficas. Este aumento se materializa pelo nível e vazão, os quais, eventualmente irão provocar inundações em suas margens. Nestes casos, as *wetlands* são influenciadas (ACREMAN e HOLDEN, 2013; SILIO-CALZADA *et al.*, 2017) por esta oscilação dos canais de drenagem, a que Junk *et al.* (1989) denominam pulsos de inundação (MIDDLETON, 2002; ALHO e SABINO, 2012; YIN *et al.*, 2019). Este conceito foi elaborado no âmbito das Ciências Biológicas como uma base importante para a teoria que busca explicar a produtividade biológica em um determinado ecossistema onde ocorrem inundações

periódicas (JUNK *et al.*, 1989; YIN *et al.*, 2019). Ela engloba o sistema formado pela planície de inundação e pelo próprio rio, onde a área ao redor periodicamente inundada, é chamada de *Aquatic / Terrestrial Transition Zone* (ATTZ). Nesta teoria, os rios e suas planícies de inundação são definidos, portanto, como um único sistema (JUNK *et al.*, 1989; JUNK e WANTZEN, 2004; ALHO e SABINO, 2012).

Os pulsos de inundação são constituídos por vários estágios. No primeiro, há o início da enchente com a chegada também de matéria e nutrientes para as planícies de inundação. Em um segundo momento, durante a enchente, há uma troca de energia e matéria entre a água do rio e os materiais já depositados na planície de inundação. Em um terceiro momento, quando a inundação está terminando, o movimento de matéria e energia flui para o rio e a água depositada na planície de inundação vai aos poucos infiltrando, evaporando ou escoa em diferentes velocidades para o rio ou outros sistemas de drenagem, como lagoas (JUNK *et al.*, 1989; JUNK e WANTZEN, 2004). Estes pulsos são criados por condições geomorfológicas e hidrológicas, podendo ser previsíveis ou imprevisíveis e com diferentes durações. Os eventos previsíveis e de longa duração são típicos de grandes sistemas fluviais como ocorre no Pantanal Mato-grossense, na região Centro-Oeste do Brasil (ALHO e SABINO, 2012).

Eles teriam início com o escoamento superficial que parte das bacias de drenagem nos continentes em direção ao oceano. Este volume é drenado dos rios e córregos em direção aos principais afluentes das grandes bacias de drenagem como os rios Paraná, São Francisco, Tocantins, Araguaia e Paraguai. Quando a vazão se concentra nestes principais canais de drenagem, ocorrem os grandes pulsos de inundação. Como a quantidade de precipitação é muito maior durante a estação úmida, estes episódios normalmente ocorrem, no Brasil, entre outubro e março.

Na América do Sul, os episódios de pulsos de inundação acontecem principalmente no Cerrado, Pantanal, Amazônia e no Chaco (LATRUBESSE *et al.*, 2005; ALHO e SABINO, 2012; IVAN BERGIER *et al.*, 2018). No Cerrado brasileiro, os episódios têm ocorrência durante a atuação do fenômeno meteorológico da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que provoca uma condição meteorológica favorável aos grandes acumulados de chuva em uma faixa noroeste / sudeste e que pode perdurar durante vários dias (MARENGO *et al.*, 2012).

Parte-se, portanto, do entendimento de que o PRP pode ser considerado uma *wetland,* e que suas condições geomorfológicas e climáticas são diretamente responsáveis pela manutenção de processos hidrogeomorfológicos que definem a dinâmica entre a hidrologia, o

meio físico e a biota do Pantanal, motivado pela ocorrência dos pulsos de inundação do rio São Francisco, principalmente quando ocorrem os episódios de ZCAS sobre os afluentes a montante da foz do rio Pandeiros, é que se estabeleceu o método e as técnicas utilizadas para testar esta proposta.

3.4. Uso de novas abordagens técnicas para a análise da dinâmica complexa das *wetlands*

Como já discutido, as relações entre os componentes das *wetlands* são caracterizadas por sua variabilidade e complexidade ao longo do tempo e no espaço. Estas características exigem o emprego de uma multiplicidade de tecnologias desenvolvidas em outras áreas de conhecimento para realizar a abordagem Geomorfológica e nesta pesquisa foram utilizadas com o enfoque da Hidrogeomorfologia das *wetlands* localizadas no interior continental da América do Sul, conferindo-lhe, assim, uma abordagem particular em si mesma.

Esta interação possibilita à Geomorfologia a melhoria na capacidade de aquisição, análise e interpretação de dados, além de promover a integração de diversas fontes de informação, tornando possível o estudo de paisagens dinâmicas e complexas, como as *wetlands*. Neste sentido, Viles (2016) apresenta cinco áreas de conhecimento cujas técnicas são usadas em Geomorfologia: 1) sensoriamento remoto; 2) datação; 3) geofísica; 4) análises e monitoramento físico e químico de campo e laboratório, baseadas em novos sensores ou instrumentos adaptados; e a 5) caracterização e identificação de atributos biológicos em campo e laboratório. O sensoriamento remoto, dentre estas novas tecnologias, tem sido uma das mais utilizadas no Brasil, inclusive para estudar as *wetlands* como o estudo de Barbosa (2010).

Neste trabalho, foram utilizadas técnicas e instrumentalização provenientes do sensoriamento remoto, bem como da geofísica, e o uso de isótopos para técnicas de datação e como traçadores, por exemplo.

3.4.1. Sobre os isótopos estáveis ^{2}H e ^{18}O

Segundo Albarède (2011), os isótopos são átomos de um mesmo elemento químico que se diferenciam pelo número de nêutrons e pela massa atômica, mantendo as demais características similares, permanecendo como o mesmo elemento químico. Podem ser classificados como estáveis, quando seu número de massa não varia no tempo, e como instáveis, ou radioativos, quando sofrem decaimento radioativo, transformando sua massa em emissão de

energia ou outras partículas subatômicas em um determinado ritmo constante no tempo (ALBARÈDE, 2011).

Eles têm ocorrência natural e artificial, sendo os naturais em menor quantidade de espécies (MISRA, 2012), predominando os estáveis, devido ao fato da desintegração dos isótopos instáveis ao longo do tempo geológico com diferentes números de ocorrência (ALBARÈDE, 2011). Os isótopos estáveis leves são mais abundantes do que os isótopos pesados, sendo os mais utilizados em pesquisas ambientais o Carbono, Nitrogênio, Oxigênio, Hidrogênio e Enxofre (MARTINELLI *et al.* 2009).

Albarède (2011) chama a atenção para o fato de que, enquanto na análise dos isótopos estáveis é a composição isotópica que informa sobre os processos ou os estados dos sistemas estudados, na aplicação dos isótopos radioativos (radio-isótopos) as informações são fornecidas justamente pelas intensidades e energias das radiações por eles emitidos. Nos casos específicos em que os radio-isópotos são aplicados para a datação, é necessário conhecer as taxas de radioatividade (que são proporcionais aos números de átomos ou núcleos instáveis) dos isótopos pais e filhos, bem como suas meia-vidas (que são inversamente proporcionais às taxas de decaimento radioativo). Análises de radio-nuclídeos de meias-vidas longas, como o ^{14}C (5.730 anos) e o ^{10}Be (1,6 x10^6 anos) possibilitam a datação de águas e sedimentos antigos (ALBARÈDE, 2011).

Existem poucos estudos que buscam analisar a circulação de água superficial a partir da influência dos pulsos de inundação nas *wetlands* usando os isótopos do H e do O (WU *et al.*, 2019); no Brasil, os isótopos são predominantemente utilizados como traçadores para as análises em águas subterrâneas (MINARDI e BOMTEMPO, 2000). O uso dos isótopos para estudo da circulação da água, parte de seus componentes H e O, sendo os isótopos do Hidrogênio: o ^1H compondo mais de 99,9%, o ^2H (Deutério) compondo entre 0,0184 - 0,0082% e o ^3H (Trítio) ocorrendo em ainda menor abundância; e as formas do Oxigênio: o ^{16}O compondo 99,763%; ^{17}O compondo 0,0375% e para o ^{18}O, compondo 0,1995% (IAEA, 1981; CLARK, 2015). Existe ainda outra análise de composição isótopica para o C e N durante os pulsos de inundação e seus efeitos na cadeia trófica (CALHEIROS, 2003), além da análise de H e O em sedimentos visando a reconstituição de paleoambientes (MATTEUZZO, 2014).

A análise da dinâmica do fluxo de água e sua interação superficial no âmbito das bacias hidrográficas a partir da sua origem meteórica pode, no entanto, ser feita a partir do uso de traçadores ambientais (FONTES *et al.*, 2011). Por meio do fracionamento isotópico (MARTINELLI *et al.* 2009), existe uma tendência de enriquecimento (relativo) em isótopos

pesados de montante para a jusante, devido, principalmente a ação da evaporação ao longo da bacia (IAEA, 1981; MARTINELLI *et al.*, 2009; FONTES *et al.*, 2011).

A análise da composição isotópica de ^{2}H e ^{18}O permite compreender como estes se diferenciam ao longo do ciclo da água espacial e temporalmente (WU *et al.*, 2019). Este fato é decorrente das diferentes massas das moléculas de água, que conferem diferentes valores às suas propriedades físicas. A partir deste princípio, durante o ciclo da água, principalmente durante a condensação e a evaporação, pode ocorrer o fracionamento isotópico, que é definido pela razão isotópica expressa pela divisão da abundância do isótopo raro (pesado) pela abundância do isótopo mais comum (leve). Neste processo, a temperatura é o motor da intensidade destas variações nas fases líquida e gasosa da água (IAEA, 1981; MARTINELLI *et al.*, 2009).

A assinatura isotópica da água nos continentes é resultado da circulação hidrológica das bacias hidrográficas. A entrada da água é composta pela precipitação e pela água subterrânea. A saída é formada pela foz, infiltração ou evaporação. A evaporação influencia na assinatura isotópica da água (FONTES *et al.*, 2011).

No presente trabalho, parte-se do princípio de que o fracionamento isotópico ocorre durante a evaporação da água, na qual os isótopos com diferentes massas, têm taxas diferentes de transporte para o estado gasoso. Desta forma, ocorre um enriquecimento relativo dos isótopos mais pesados nos ambientes onde as amostras são coletadas. No caso da água, durante a evaporação, as moléculas de $^{1}H_{2}{}^{16}O$, por serem mais leves, se transformam em vapor mais rapidamente, e a água residual, se torna mais enriquecida pelas móleculas contendo os isótopos mais pesados, neste caso, o $^{2}H_{2}{}^{18}O$ (CLARK, 2015).

A relação da composição isotópica entre o Oxigênio e o Hidrogênio é proporcional e segue a *Global Meteoric Water Line* (GMWL). Contudo, os fatores que afetam o fracionamento isotópico do Hidrogênio e do Oxigênio são a temperatura, a altitude, a latitude e a maritimidade (FERREIRA, 2008).

Partindo deste fundamento, pode-se interpretar que, durante a inundação do PRP, que depende da mudança temporária do nível do rio São Francisco, a circulação da água nas duas bacias hidrográficas envolvidas: São Francisco e Pandeiros poderão apresentar diferentes concentrações em isótopos mais pesados devido à tendência de enriquecimento no sentido da foz dos rios, no ambiente do pantanal, que é inundável. Deve-se considerar, no entanto, a ocorrência de valores de fracionamento isotópico diferentes, uma vez que as águas provenientes da bacia do rio São Francisco, por terem uma área de circulação maior, podem ter uma

composição isotópica mais pesada, e as águas da bacia do rio Pandeiros, uma composição isotópica mais leve, devido a sua circulação menor, devido ao menor tamanho da bacia e assim, menos evaporação.

3.4.2. Sobre os isótopos instáveis ^{14}C e ^{10}Be

Estes isótopos instáveis, também conhecidos por nuclídeos radioativos, são nuclídeos cosmogênicos, têm como característica comum, serem produzidos a partir dos raios cósmicos que atingem a Terra, podendo esta produção ocorrer na superfície terrestre ou na atmosfera. Quando são produzidos na superfície, podem ser chamados de *in situ* ou terrestres; e quando são formados na atmosfera, são chamados de nuclídeos meteóricos (DUNAI, 2010).

Estes nuclídeos meteóricos são produzidos em uma grande quantidade, se comparados às taxas de produção daqueles produzidos *in situ*, ou terrestres. Sua produção é controlada pelo fluxo dos raios cósmicos que chegam até a Terra. A maior contribuição desta energia vem da explosão de Supernovas, e uma menor contribuição do Sol do Sistema Solar. Este fluxo tem atingido a Terra por todos os ângulos, em uma taxa aproximadamente constante pelo menos nos últimos 10 milhões de anos (DUNAI, 2010). A taxa média global de bombardeio por raios cósmicos pode ser constante, mas varia localmente devido às deformações dos cinturões magnéticos que protegem o planeta, mais na região Equatorial-Tropical do que nos polos e dos ventos solares, que variam com a atividade solar.

O uso do ^{14}C é provavelmente o método de datação mais conhecido, criado na metade do século XX (ARNOLD e LIBBY, 1949). O ^{14}C é criado a partir da interação destes raios cósmicos com átomos de nitrogênio e oxigênio, produzindo partículas secundárias, como nêutrons. Assim, a reação entre os nêutrons e o nitrogênio, produz o carbono radioativo e um próton (ALBARÈDE, 2011).

Os isótopos de ^{14}C se misturam aos demais, sendo incorporados aos vegetais; a partir daí, circulam pela cadeia alimentar dos seres vivos, durante todo o seu período de vida, mantendo uma razão isotópica ($^{14}C/^{12}C$) constante e conhecida. Com a morte do ser vivo, não há mais incorporação de ^{14}C e a partir da determinação do decaimento radioativo, em números de meia-vida transcorridos, é possível datar o tempo transcorrido desde a morte (PESSENDA *et al.*, 2005; ALBARÈDE, 2011). Este método de datação precisa de algumas calibrações, em virtude de alguns fatores como o alto consumo de combustíveis fósseis na Terra, que libera o ^{14}C que estava preso ao ciclo longo do carbono; também as explosões nucleares que contaminaram a atmosfera com mais isótopos, sendo parcialmente incorporados aos oceanos.

Por fim, existe também uma oscilação da radiação galáctica que chega à Terra, o que também afeta a quantidade de ^{14}C produzido ao longo do tempo. Esta calibração das idades de ^{14}C são fundamentadas por dendrocronologia para idades mais recentes, e por concentração de Tório-230 (^{230}Th) em corais, para idades mais antigas (PESSENDA *et al.*, 2005; ALBARÈDE, 2011).

Na região do entorno da bacia do rio Pandeiros, já existem trabalhos que utilizaram o ^{14}C para datação e reconstituição de dados paleoambientais (DE OLIVEIRA *et al.*, 1999; PESSENDA *et al.*, 2005; ALBARÈDE, 2011; CASSINO, 2014; CHUENG *et al.*, 2018).

Os isótopos de ^{10}Be, por sua vez, são produzidos pelo efeito da espalação, que é a quebra de núcleos de ^{14}N e ^{16}O pela radiação cósmica. Na atmosfera, as partículas atômicas são ejetadas por cada evento de espalação, que por sua vez, induz este efeito em outros átomos, aumentando a quantidade de reações em cadeia (DUNAI, 2010). Próximo dos polos magnéticos da Terra, os raios cósmicos conseguem penetrar o campo magnético com maior facilidade do que nas baixas latitudes, onde uma quantidade significativa dos raios cósmicos é bloqueada pelo campo magnético da Terra. Esta produção é maior quando localizada próximo aos polos magnéticos e nas áreas de elevada altitude (DUNAI, 2010).

Desse modo, conforme sintetizado por Bezerra (2018) a produção de nuclídeos cosmogênicos ^{10}Be é uma função que envolve: 1) a energia das partículas do espectro dos raios cósmicos que atingem a Terra e 2) a probabilidade de estas partículas com alta energia colidirem com os alvos na atmosfera ou na superfície da Terra.

Por sua vez, a energia das partículas do espectro dos raios cósmicos é uma função que envolve (BEZERRA, 2018): a) o campo geomagnético, que bloqueia mais os raios nas baixas latitudes, próximo à linha do Equador e favorece a penetração dos raios nas altas latitudes, próximo aos polos magnéticos; b) a altitude, que favorece uma maior produção nas áreas mais elevadas e é menor nas porções mais baixas da superfície da Terra e c) massas sólidas na superfície que podem bloquear ou atenuar (*shielding effect*) a incidência dos raios cósmicos, o que vai afetar a produção dos nuclídeos cosmogênicos.

Assim, a taxa de produção dos nuclídeos cosmogênicos *in situ* variam espacialmente segundo a elevação, a latitude e o efeito *shielding* da superfície. Estas 3 variáveis devem ser contabilizadas quando se deseja analisar as idades de exposição ou as taxas de erosão (DUNAI, 2010). Para calcular a estimativa da erosão utilizando os isótopos de ^{10}Be não se considera os nuclídeos produzidos na atmosfera, mas somente aqueles produzidos pela interação dos raios cósmicos que penetram na crosta, onde também causam espalação, e especificamente, nos grãos de quartzo associados à sílica, que são os *múons*, muito importantes para a produção em

subsuperfície dos nuclídeos cosmogênicos *in situ* (DUNAI, 2010). Esta produção de nuclídeos na crosta se reduz em profundidade, sendo maior na profundidade 0 m e reduzida até o limite de penetração da radiação cósmica em subsuperfície (ALBARÈDE, 2011).

A partir da atuação da erosão sobre uma mesma superfície, a quantidade de átomos de ^{10}Be irá variar conforme a profundidade ao longo do tempo. Assumindo que a taxa de erosão seja constante e a taxa de produção de ^{10}Be também o seja, pode-se calcular o equilíbrio entre a remoção por erosão e a radioatividade produzida pela radiação. Sabendo a taxa de produção em profundidade 0 m e a distância de atenuação para cada tipo de material da cobertura, a concentração de ^{10}Be em relação ao ^{9}Be fornece uma estimativa da taxa de erosão no local analisado (ALBARÈDE, 2011; GRANGER *et al.*, 2013). A mensuração da concentração da razão ^{10}Be/^{9}Be é realizado por meio de sua transformação em óxido de Berilo (BeO) e sua razão isotópica em AMS (ALBARÈDE, 2011; GRANGER *et al.*, 2013).

No Brasil, o uso desta técnica ainda é incipiente, concentrada nas regiões Sudeste e Sul (CHEREM *et al.*, 2012; SALGADO *et al.*, 2014; SALGADO *et al.*, 2016), principalmente nos principais divisores das bacias hidrográficas além de poucos trabalhos na bacia do rio Amazonas (WITTMANN e BLANCKENBURG, 2009; WITTMANN *et al.*, 2011) e do Pantanal (PUPIM *et al.*, 2015). Na bacia do rio São Francisco, existem trabalhos que utilizaram o ^{10}Be principalmente no Quadrilátero Ferrífero, no alto curso do rio das Velhas (SALGADO, 2007; VARAJÃO *et al.*, 2009; BEZERRA, 2018) e na Serra do Espinhaço (BARRETO *et al.*, 2013; SOSA GONZALEZ *et al.*, 2016).

3.4.3. Utilização dos isótopos cosmogênicos para cálculo da taxa média de desnudação da bacia

O cálculo da taxa de desnudação média das bacias hidrográficas pode ser feito a partir da abundância dos nuclídeos cosmogênicos ^{10}Be em relação aos átomos de ^{9}Be presentes em sedimentos aluviais de uma determinada bacia hidrográfica (BLANCKENBURG e WILLENBRING, 2014).

O princípio da ideia para esta análise é que uma superfície terrestre fica exposta continuamente aos raios cósmicos onde irá acumular os nuclídeos cosmogênicos *in situ* como o ^{10}Be. A contínua exposição compensa o decaimento dos nuclídeos mais antigos. Contudo, caso ocorra uma perda de camada na superfície, por erosão mecânica, ou uma deposição sobre aquela superfície, ou ainda, um movimento de massa e o material fique depositado em grande profundidade, haverá uma redução na quantidade de nuclídeos (BLANCKENBURG e

WILLENBRING, 2014). Assim, a mensuração em Espectrômetro de Massa com Acelerador (AMS) da razão $^{10}Be/^{9}Be$ nas amostras de sedimentos será o resultado de uma combinação entre a taxa de produção *versus* o tempo de exposição (GRANGER *et al.*, 2013).

Esta concentração é mensurada a partir dos isótopos de ^{10}Be que estão no interior de grãos de quartzo contidos nas geocoberturas; caso sejam erodidos, podem ser transportados. Como neles estão os nuclídeos cosmogênicos do ^{10}Be, sua mensuração e extrapolação para a escala de uma bacia hidrográfica se torna possível (GRANGER *et al.*, 2013). Esta é uma possibilidade dentre várias outras aplicações possíveis na análise do ^{10}Be *in situ* (DUNAI, 2010). Assim, é possível quantificar o *steady-state* de uma bacia hidrográfica a partir da estimativa da sua taxa de desnudação por meio da mensuração da concentração dos nuclídeos cosmogênicos contidos em uma amostra de quartzo em canais de drenagem (GRANGER e SCHALLER, 2014). Como os materiais que recobrem a superfície podem ser removidos via erosão ou dissolução, e o cálculo da taxa de concentração dos nuclídeos cosmogênicos envolve os isótopos que estão nos sedimentos, eles fornecem uma taxa de desnudação, ou seja, da erosão mecânica e não de toda a erosão (a dissolução geoquímica, por exemplo) que ocorreu na bacia (BLANCKENBURG, 2005).

Esta técnica começou a ser utilizada a partir da década de 1990, quando dados de concentração $^{10}Be/^{9}Be$ foram extrapolados para a escala de bacias hidrográficas (BLANCKENBURG, 2005). Nesta metodologia, a concentração dos nuclídeos cosmogênicos de um sedimento aluvial coletado em um canal ativo, pode ser utilizada para quantificar a taxa média de erosão da bacia hidrográfica (GRANGER e SCHALLER, 2014). Essa quantificação pode ser feita para as bacias hidrográficas como um todo, pois a concentração isotópica resulta de uma integração da rede fluvial a montante do ponto de amostragem (GRANGER e SCHALLER, 2014). Para o uso deste método, parte-se da aceitação das seguintes premissas (DUNAI, 2010; BEZERRA, 2018):

a) a desnudação é constante ao longo do tempo na superfície, a partir do início do período considerado de concentração dos isótopos;

b) todos os tipos de litologias contribuem para a carga de sedimentos e chegam até a amostra de modo consistente pelas taxas de desnudação;

c) a amostra mineral coletada tem a mesma diversidade proporcional para ocorrência de todas as litologias da bacia;

d) a escala temporal da desnudação é menor que a meia-vida do nuclídeo cosmogênico;

e) o armazenamento do sedimento é mínimo em relação à desnudação na escala temporal.

3.4.4. Técnicas da geofísica: GPR e eletrorresistividade

Novas tecnologias têm sido utilizadas para coletar dados em pesquisas geomorfológicas, como as técnicas geofísicas que permitem a aquisição do dado sem contato direto com o alvo e com uma menor interferência nele no momento da coleta e tratamento do dado (ARANHA *et al*., 2002). Tendo em vista a redução dos custos para aquisição e portabilidade dos instrumentos, sua incorporação à análise geomorfológica tem sido cada vez maior, incluindo a combinação de métodos, visando ampliar as análises realizadas (ARANHA, 2002; VILES, 2016).

Como método eletromagnético, utiliza-se o *Ground Penetrating Radar* (GPR) que permite a obtenção de informação em uma escala que varia entre a métrica e a centimétrica sobre a subsuperfície (ARANHA, 2002; DANIELS, 2004). Entre os métodos elétricos, pode-se utilizar o método da eletrorresistividade, que gera uma corrente artificial que é propagada por meio de eletrodos, sendo a diferença de potencial medida pelos demais eletrodos em corrente contínua e de baixa frequência (LOWRIE, 2007; DAM, 2012). Utilizando a Lei de Ohm e a geometria da disposição dos eletrodos, a resistividade pode ser calculada. Esta é a medida da dificuldade de condutividade da corrente elétrica e se dá em função de um complexo de propriedades das geocoberturas como textura, superfície condutora, efeitos da argila, saturação de água, salinidade e temperatura. A coleta de dados pode se dar na configuração *wenner* ou dipolo-dipolo e outros (TELFORD *et al.*, 1990; LOWRIE, 2007; DAM, 2012; NOGUEIRA *et al.*, 2013; SILVA, 2018).

Os estudos da paisagem podem ser realizados com as ferramentas emergentes da geofísica em seus métodos de campo. O GPR tem sido uma técnica muito popular para a caracterização da subsuperfície, principalmente em áreas sedimentares (ARANHA *et al*., 2002). O entendimento de processos de desenvolvimento e evolução das paisagens, normalmente envolve a obtenção de informação da sua estrutura interna, composição, bem como o dimensionamento destas unidades (ARANHA *et al*., 2002; DANIELS, 2004; AUGUSTIN *et al.* 2006; DAM, 2012).

A utilidade do GPR pode se dar em vários casos, como na extração de informações de subsuperfície quando a abertura de valas não é possível. A aplicação desta técnica pode relevar informações não perceptíveis na análise topográfica da superfície, como a identificação de falhas (LUNINA *et al.*, 2019).

O GPR emite ondas eletromagnéticas em uma faixa de frequência que pode variar desde 10 até 3.500 MHz em direção a subsuperfície. Por meio deste instrumento, é possível identificar estruturas e características próprias de determinados materiais que estão em subsuperfície (ARANHA, 2003; DANIELS, 2004).

A natureza do campo eletromagnético das geocoberturas é formada pela junção do campo elétrico e do campo magnético, variando no tempo. Como o campo magnético da maior parte das geocoberturas do planeta não apresenta forte comportamento, a análise da interação entre o campo elétrico emitido pelo radar em relação às propriedades dos materiais oferece condições para interpretação de informações da subsuperfície das geocoberturas como sua estrutura e constituição (ARANHA, 2003; DANIELS, 2004).

A partir do momento em que há a emissão de ondas eletromagnéticas nas geocoberturas, estas sofrem alterações em seu comportamento (em relação a uma trajetória ideal e teórica, a qual deveria se propagar em linha reta), podendo se difundir ou se dispersar (através dos fenômenos de reflexão, refração, difração) a depender das propriedades dos materiais que existem na subsuperfície. Assim, apenas a energia que é emitida e não se dispersa é aquela que poderá ser captada pelo sensor do radar receptor (refletida), e isto se dá em função das características de velocidade e frequência da energia eletromagnética emitida pelo radar (ARANHA, 2003). Assim, a aplicação das ondas eletromagnéticas do GPR deve se dar em função das propriedades elétricas das geocoberturas que se deseja investigar. As principais características que interferem nestas propriedades são: densidade, composição química, estado da matéria e conteúdo de água e sua distribuição (ARANHA, 2003).

Na maior parte dos casos, os dados geofísicos necessitam de informações complementares para serem interpretados (DAM, 2012). Em aplicações na geomorfologia, por exemplo, isto pode ocorrer por meio de tradagem. A coleta de amostras das geocoberturas em profundidade equivale àquela do levantamento de dados, para análise física e química das geocoberturas como realizado por Aranha (2002); Aranha *et al.* (2002); Augustin *et al.* (2009); Neves *et al.* (2015).

3.4.5. Análise de vertentes: Sítios Geomorfológicos

A vertente é um plano inclinado, ligado a um fluxo no fundo do vale, e que pode ser caracterizada segundo: 1) sua forma; 2) sua composição; e 3) seus processos (CHRISTOFOLETTI, 1980; CASSETI, 1994; SUMMERFIELD, 2013). Sua caracterização inicial é a forma, que é um atributo baseado sua na declividade, comprimento e na sua curvatura.

A análise de vertentes segue método proposto por Augustin (1979), com base na identificação de Sítios Geomorfológicos. Essa análise assume que a vertente constitui elemento básico do relevo e que seus componentes morfológicos e de altura possibilitam um recorte que permite individualizar dados e informações sobre a superfície e subsuperfície em cada segmento que apresente medidas relativamente homogêneas de inclinação, denominados de Sítios Geomorfológicos (AUGUSTIN, 1979; MARTINS *et al*., 2013).

Segundo Augustin (1979), os Sítios Geomorfológicos correspondem à menor porção de análise da vertente e como tal, podem ser utilizados como elementos taxonômicos de classificação do relevo, em abordagem teórica, ou prática (ex. levantamento de recursos naturais). Dessa maneira, fornecem também uma referência espacial, passível de ser identificada em imageamentos na escala de até 1:25.000, referenciando dados e informações das vertentes, tais como vegetação, geocoberturas e quaisquer dados que possam ser utilizados para caracterizar e analisar áreas de estudo (WRIGHT, 1973; AUGUSTIN, 1979).

A identificação é realizada por meio de medidas de inclinação, em graus, do topo para a base da vertente, ao longo de um transecto, cujo azimute é medido no ponto inicial da sequência, e o auxílio de 3 balizas de 2 m, alinhadas à distâncias regulares que podem variar de pesquisa para pesquisa, dependendo do objetivo e escala do trabalho. o Sítio Geomorfológico, é identificado quando ocorrem rupturas de declive, marcando mudanças externas na superfície da vertente o que, segundo a autora, pode ser interpretado como indício de variações subsuperficiais, tais como de materiais e de processos, que se refletiram na superfície.

3.4.6. Geocoberturas e dados complementares

Geocoberturas são entendidas como todo o material encontrado entre a rocha sã e atmosfera, incluindo os denominados saprólito e o solo (AUGUSTIN, 2009; NAZAR, 2018). Esse termo tem sido utilizado em substituição ao “regolito”, embora tenha o mesmo significado. Constituem fontes importantes de informação sobre a vertente, contribuindo para a análise da ocorrência de processos antigos e recentes, e associados ao modelamento das formas de relevo em condições climáticas específicas (AUGUSTIN *et al*., 2014). Esses dados e informações devem, de preferência, estar espacialmente integrados a outros elementos da morfologia do relevo, passíveis de serem identificados por imageamento, facilitando sua identificação para efeitos de contextualização ambiental e de extrapolação de resultados. Em função disto, sua coleta, neste trabalho, foi realizada na porção central dos Sítios Geomorfológicos.

4. MÉTODO, TÉCNICAS E MATERIAIS

4.1. Introdução

As técnicas utilizadas nesta pesquisa visaram auxiliar na compreensão da dinâmica da *wetland* através da obtenção de uma gama variada de dados e informações, que permitiram analisar os processos e produtos hidrogeomorfológicos nas escalas espacial e temporal na área de estudo. O trabalho envolveu diversas fases, como a de 1) aquisição de informações; 2) tratamento de dados, análise e produção de informações que ocorreram em diversas etapas de pesquisa, elencadas a seguir:

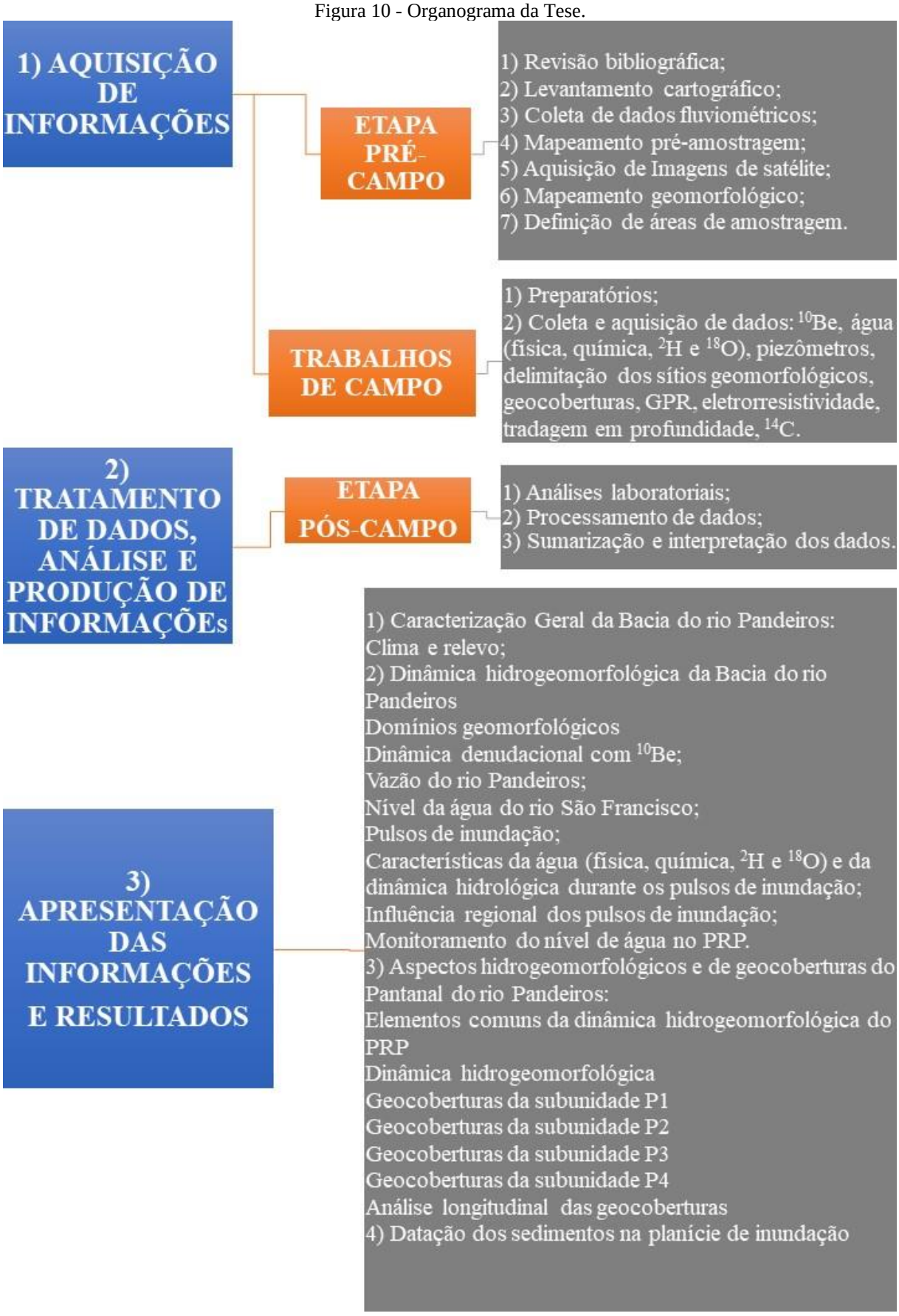
Etapa Pré-Campo (preparatória): Quando foi realizada aquisição dos dados já publicados, importantes para uma análise preliminar da bacia do PRP, além de um campo inicial para conhecimento preliminar da bacia do rio Pandeiros. Esta fase envolveu a também a análise preliminar da produção bibliográfica, cartográfica e de imagens de satélite disponíveis, com análises e produção de dados complementares sobre o clima e o relevo. Foi, ainda, elaborado um mapeamento geomorfológico da área (OLIVEIRA *et al.,* 2017), importante instrumento de auxílio para a distribuição amostral realizada mais tarde no campo. Essa etapa possibilitou, além de aprofundar o conhecimento sobre o tema e a área, a definição do plano de amostragem, das técnicas de campo e de um cronograma inicial das atividades das diversas fases do estudo.

Etapa de Trabalhos de campo: Aqui ocorreram a coleta de dados em campo e análises preliminares dos dados do meio físico. Foram conduzidos vários trabalhos de campo para a amostragem de diversos parâmetros considerados fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Dada a escassez e generalidade das informações pré-existentes, foi preciso realizar um grande levantamento de novos dados primários, em escala de maior detalhe cartográfico. Entre elas, os dados de clima e as medições das formas de relevo e coleta de amostras consideradas essenciais para o cumprimento dos objetivos propostos nesta pesquisa.

Etapa Pós-campo: A etapa pós-campo envolveu a preparação, análise das amostras em laboratório e a etapa de sumarização. Nela foram aplicadas técnicas para ordenação e interpretação dos dados obtidos a fim de apresentá-los na forma de tabelas, gráficos e mapas para este trabalho.

Por fim, foi elaborada a fase de apresentação das informações e resultados. Todas estas fases e etapas foram sumarizadas no plano de ação, como apresentado na figura 10:

Figura 10 - Organograma da Tese.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.2. A Etapa Pré-campo

4.2.1. Revisão Bibliográfica e Levantamento Cartográfico

A aquisição de informações já existentes sobre a área de estudo foi considerada importante para orientar o nível de detalhe da pesquisa geomorfológica existente e quais níveis de informações seriam necessários para atingir aos objetivos da pesquisa. As atividades consistiram basicamente em: a) revisão bibliográfica; b) complementação de dados climáticos e de formas do relevo; c) levantamento cartográfico; d) mapeamentos preparatórios; e) elaboração do mapa de domínios geomorfológicos e definição de áreas de amostragem.

4.2.1.1. Levantamento de dados já existentes

O levantamento bibliográfico sobre a área de estudo partiu das poucas referências existentes e disponíveis sobre a área de estudo. Entre elas, destacam-se o Radam Brasil (1982), o 2º Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro (CETEC, 1981) e os estudos de Rodrigues e Augustin (2012). A característica comum a estas referências bibliográficas é a caracterização em escala regional, sem o objetivo de analisar em escala de detalhe as feições e dinâmicas existentes nesta área, e terem sido, por muito tempo, as únicas fontes de informação disponíveis, ajudando a conferir uma impressão de homogeneidade para todas as paisagens das áreas estudadas. A bibliografia geral sobre a *wetland* (temática) embora rica, carece de abordagens semelhantes à esta proposta, ou seja, do estudo de uma *wetland*, pequena, continental e analisada/estudada na perspectiva sua da dinâmica hidrogeomorfológica. Essa carência não restringe às publicações no Brasil, mas no mundo em geral.

Para possibilitar a obtenção de produtos cartográficos, foi criado um banco de dados em ambiente SIG (*software*s Arcgis e Qgis) das bases cartográficas disponíveis. Todos os dados espaciais foram convertidos e utilizados no DATUM SIRGAS 2000 23 S. As bases cartográficas em formato digital, foram obtidas nas seguintes Instituições:

- Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – Ottobacias hidrográficas na escala 1: 100.000 disponível no ano de 2015;

- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) – Mapas estaduais de Geodiversidade de Minas Gerais; Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – SD23 – Brasília e Mapa Hidrogeológico do Brasil, todos na escala de 1: 1.000.000, onde foram analisadas as

informações geológicas referentes à litologia, estrutura e hidrogeologia, disponível no ano de 2015.

- Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (Projeto: CODEMIG – UFMG, 2015) – Mapas geológicos, todos na escala 1: 100.000: Folha São Francisco - SD.23-Z-C-IV; Folha São Joaquim - SD.23-Y-D-III; Folha Catolé SE.23-Z-C-I, que foram integrados nos limites da bacia, ou mesmo vistos individualmente, e após checagem de campo por equipe envolvida no projeto ao qual esta pesquisa está vinculada, foram adotados como as referências principais para a análise e caracterização da geologia do PRP.

- Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) – Sistema de informação geográfica da mineração (SIGMINE), no qual as informações dos recursos minerais referentes a zinco e manganês estão em fase de autorização e/ou requerimento de pesquisa, além de disponibilidade, coletado no ano de 2015.

- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (ICMBIO – CECAV) – Base de dados geoespacializados, que em outubro de 2015, registrava a presença de cavidades nas áreas a montante do PRP, e próximas à bacia do rio Mandim.

- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) – Levantamento integrado de recursos naturais da região Noroeste de Minas Gerais, 1980, na escala de 1:500.000, registrando Latossolos, Cambissolos, Gleissolos e Neossolos.

- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD – GEOSISEMANET) – Inventário Florestal de Minas Gerais, que mostra a presença das unidades de conservação existentes no PRP como o Refúgio de Vida Silvestre do rio Pandeiros e da Área de Proteção Ambiental do rio Pandeiros.

- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Divisão de Processamento de Imagens (INPE – DPI) – Queimadas – Monitoramento de focos de 20/09/2013 até 20/09/2015 com a ocorrência de focos de incêndio no PRP principalmente no ano de 2014, e em menor quantidade em 2015 e sem registros para o ano de 2013.

Dentre as bases de dados pré-existentes, as cartas topográficas na escala 1: 100.000, produzidas pelo Serviço Geográfico do Exército, são os dados com o maior nível de detalhe sobre a região. Por isso, foram muito importantes para reconhecer preliminarmente a estrutura do relevo e a organização da rede fluvial na bacia do rio Pandeiros. As cartas utilizadas foram:

Folha Catolé SD.23-Z-C-I de 1970;

Folha São Joaquim SD.23-Y-D-III de 1972 e a

Folha São Francisco SD.23-Z-C-IV de 1969,

A carta de São Francisco é considerada a mais importante, pois é nela que está localizado o PRP. As cartas estavam disponíveis apenas em formato analógico, assim, foram escaneadas e georreferenciadas, para se tornarem parte do acervo do banco de dados digital, além de serem fundamentais na realização dos trabalhos de campo preparatórios.

4.2.1.2. Complementação de dados climáticos

Buscando-se obter uma caracterização climática mais ampla da região, foram utilizados dados de estações automáticas e convencionais de 5 (cinco) locais no entorno da bacia do rio Pandeiros. O critério de escolha foi pela utilização das estações com as maiores séries históricas de dados disponíveis para o entorno da região, conforme mostra o quadro 02. Foram utilizados os dados disponibilizados pelo sistema de dados climatológicos Agritempo da Embrapa:

Quadro 02 - Dados das estações meteorológicas utilizadas para caracterização climática da bacia do rio Pandeiros.

NOME DA ESTAÇÃO	CÓDIGO	PERÍODO DE DADOS		LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	ALTITUDE (m)
Chapada Gaúcha	TRMM.3085 Agritempo	03/2000	10/2017	15° 30' 00"	45° 30' 00"	692
São Romão	TRMM.2747 Agritempo	03/2000	10/2017	16° 30' 00"	45° 15' 00"	518
Montalvânia	TRMM.3429 Agritempo	03/2000	10/2017	14° 30' 00"	44° 30' 00"	642
Itacarambi	TRMM.3260 Agritempo	03/2000	10/2017	15° 00' 00"	44° 15' 00"	668
Januária	Januária INMET	03/2000	10/2017	15° 27' 00"	44° 22' 12"	482

Fonte: EMBRAPA, 2018.

Os dados de precipitação média anual por estação climatológica foram interpolados em *software* SIG com a técnica *inverse distance weighted* (IDW), sendo os resultados separados em 5 classes definidos por intervalos geométricos e apresentados na figura 35.

4.2.1.3. Complementação de dados do relevo

Como resultado de um aumento no nível de aproximação para análise do relevo da área de estudo, foi confeccionado o mapa hipsométrico da região, apresentado na figura 37 com

dados do Modelo Digital de Elevação produzidos pela EMBRAPA a partir de imagens SRTM em escala de 1: 250.000.

4.2.1.4. Aquisição de dados de sensoriamento remoto

Foram utilizadas várias fontes de dados de sensoriamento remoto para construir o banco de dados utilizado, devido à inexistência de mapeamentos preliminares na região. Foram utilizadas as seguintes fontes de dados para construção de Modelos Digitais de Elevação:

- INPE – DSR – TOPODATA, cenas 15s45, 15s465, 14s45 e 14s465 que possuem uma resolução espacial e altimétrica de 90 m em cada pixel disponíveis em http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php. A partir destes dados, foram geradas muitas informações como hipsometria, declividade, orientação de vertentes, índice de concentração de rugosidade, índice de Hack e perfil longitudinal do rio.

- ALOS *Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar* (ALOS PALSAR), cenas AP_26956_FBS_F6860_RT1; AP_26956_FBS_F6870_RT1; AP_26956_FBS_F6880_RT1; AP_27204_FBS_F6860_RT1; AP_27204_FBS_F6870_RT1; AP_27204_FBS_F6880_RT1; AP_27379_FBS_F6860_RT1; AP_27379_FBS_F6870_RT1; AP_27379_FBS_F6880_RT1. Elas foram adquiridas no site: https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/.

O uso deste MDE se deu em razão da resolução do MDE TOPODATA, pois este, com resolução de 90 metros não permite a visualização de detalhes do relevo de superfícies muito planas, onde uma diferença topográfica de 10 metros produz alterações significativas.

Os arquivos para os produtos ALOS PALSAR foram obtidos gratuitamente para utilização. Os produtos adquiridos foram *Radiometrically and terrain-corrected* (RTC) no formato *geocoded GeoTIFF image*, que possuem resolução espacial e altimétrica de 12,5 metros, já estando georreferenciados. Estes foram extremamente importantes, para a delimitação das áreas de amostragem e, posteriormente, para a confecção das informações produzidas na tese. As cenas de MDE foram mosaicadas no *software* IDRISI e exportadas no formato *.tiff* para serem utilizadas nos demais *software*s de geoprocessamento.

Além de dados MDE foram adquiridas, ainda, imagens de satélite para visualização e monitoramento da superfície (cobertura vegetal, uso da terra, corpos de água) ao longo do tempo. Estas informações foram muito importantes para confirmar, por meio de interpretação visual das imagens, os fenômenos pesquisados e estudados em detalhe pelas demais técnicas utilizadas neste trabalho.

Assim apesar deste trabalho não estar baseado apenas em técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens, estas foram utilizadas de modo suplementar, colaborando para a verificação dos fenômenos estudados. Todas as imagens adquiridas foram georreferenciadas a partir das cartas topográficas na escala de 1: 100.000, mosaicadas, realçadas e processadas no *software* IDRISI, sendo depois exportadas no formato *.tiff* para utilização nos demais *software*s do SIG, juntamente com o banco de dados confeccionado para este trabalho.

Uma característica importante para esta análise foi a aquisição de imagens em uma escala temporal muito ampla, com o objetivo de monitorar os episódios de pulsos de inundação no PRP. O principal obstáculo enfrentado foi a cobertura de nuvens durante os pulsos de inundação incluindo o mais intenso, que ocorreu em 1979, no qual, mais de 90% da área do PRP encontrava-se coberta por nuvens, o que impediu sua utilização.

Foram adquiridas e utilizadas imagens do Landsat1 e Landsat 2, sensor MSS com resolução espacial de 80 metros Landsat 5 com sensor TM de resolução espacial de 30 metros e Landsat 8, CBERS 4, sensor MUX resolução espacial de 20 metros, estas sendo adquiridas na Divisão de Geração de Imagens do INPE (http://www.dgi.inpe.br/) além do Rapideye, sensor REIS, com resolução espacial de 5 metros já ortorretificada, adquirida no Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente (MMA) em: (http://geocatalogo.mma.gov.br/), conforme mostra o quadro 03:

Quadro 03 - Lista das imagens de satélites utilizadas para realização das análises durante o trabalho da tese (2015-2019).

ANO	DATA	IMAGEM
1973	12 de julho	Landsat 1, sensor MSS, órbita 235, ponto 071
1976	26 de novembro	Landsat 2, sensor MSS, órbita 235, ponto 071
1981	06 de dezembro	
1984	29 de junho	Landsat 5, sensor TM, órbita 219, ponto 071
1986	26 de janeiro	
1992	28 de fevereiro	
2007	20 de janeiro	
2012	20 de dezembro	Rapideye, sensor REIS, cenas: 2331816_2012-12-20T141055_RE5_3A-NAC_14473519_171828_0 e 2331916_2012-12-20T141052_RE5_3A-NAC_14473476_171828_1
2015	09 de outubro	Landsat 8, sensor OLI, órbita 219, ponto 071
2018	28 de fevereiro	CBERS 4, sensor MUX, órbita 154, ponto 118
2018	11 de dezembro	
2019	05 de janeiro de 2019	Landsat 8, sensor OLI, órbita 219, ponto 071
2019	06 de janeiro	CBERS 4, sensor MUX, órbita 154, ponto 118

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.2.1.5. Mapeamentos preparatórios

A partir da reunião dos dados cartográficos e da revisão bibliográfica, foi iniciado um trabalho de mapeamento geral da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, sendo a maior parte dos mapas, o resultado de união de camadas de informação, recorte e classificação das informações. Como exemplo, tem-se: Ottobacias (sub)bacias hidrográficas; Litologias: formações e estruturas; Hidrogeologia; Recursos minerais: Substâncias, Fases de Licenciamento; Grutas e cavernas; Solos; Hipsometria; Declividade; Orientação de vertentes; Índice de Concentração de Rugosidade; Índice de Hack; perfil longitudinal do rio Pandeiros; Classificação dos canais de drenagem; Unidades de conservação e Focos de Incêndio. Destaca-se a seguir os principais mapas produzidos e que contribuíram para a definição das áreas de amostragem.

4.2.1.6. Mapa de Índice de Concentração de Rugosidade (ICR)

Foi gerado segundo a metodologia de Sampaio e Augustin (2014), sendo feito também em ambiente SIG a partir de imagens SRTM TopoData, já indicadas. Os valores de declividade foram interpolados usando a Densidade de Kernel, utilizando como raio de busca 1.128 m. Os valores foram normalizados utilizando os valores obtidos da divisão da área de abrangência pela área do pixel, sendo classificados em 5 classes, de acordo com o Desvio Padrão.

4.2.1.7. Índice de Hack

Foi obtido empregando a metodologia proposta por Etchebehere *et al.* (2004), Etchebehere *et al.* (2006) e Fonseca e Augustin (2014), sendo utilizadas imagens TopoData e a rede hidrográfica fornecida pelo IGAM (2015). O interpolador utilizado foi o Inverso do Quadrado da Distância e os valores finais foram normalizados. As classes de valores apresentados no mapa foram definidas pela distribuição do desvio padrão.

4.2.1.8. Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros e definição de áreas de amostragem.

O objetivo principal do mapeamento geomorfológico foi identificar grandes conjuntos de formas de relevo (domínios geomorfológicos), como base para o entendimento das variações

da dinâmica hidrogeomorfológica na bacia do rio Pandeiros, tendo sido publicado por Oliveira *et al*. (2017). Isto se justifica na medida em que, para a compreensão da dinâmica do PRP, também é necessária uma avaliação, mesmo que geral, do restante da bacia.

Para a delimitação dos domínios geomorfológicos foram consideradas as seguintes informações:

i) geologia (Mapa Estadual de Geodiversidade de Minas Gerais, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil, na escala de 1: 1.000.000);

ii) orientação de vertentes (modelo digital de elevação, gerado a partir de imagens SRTM obtidas no Projeto TopoData do INPE) segundo os pontos cardeais Norte, Sul, Leste e Oeste;

iii) Índice de Concentração de Rugosidade; e

iv) do Índice de Hack. Foi utilizada a técnica do overlay para a delimitação visual de características ou valores semelhantes, resultando na identificação de seis grandes domínios geomorfológicos na bacia, cuja identificação tem a vantagem de ser rápida e eficaz.

4.2.2 Coleta de Dados Fluviométricos

Parte significativa das análises do comportamento do nível do rio São Francisco e da vazão do rio Pandeiros foi realizada a partir dos dados das estações fluviométricas próximas da área de estudo e que continham sequências temporais mais longas. Foram selecionadas duas estações fluviométricas no rio São Francisco, uma a montante e outra a jusante do PRP. Para os dados de vazão, foi selecionada uma estação fluviométrica localizada a montante do PRP, próximo a PCH do rio Pandeiros.

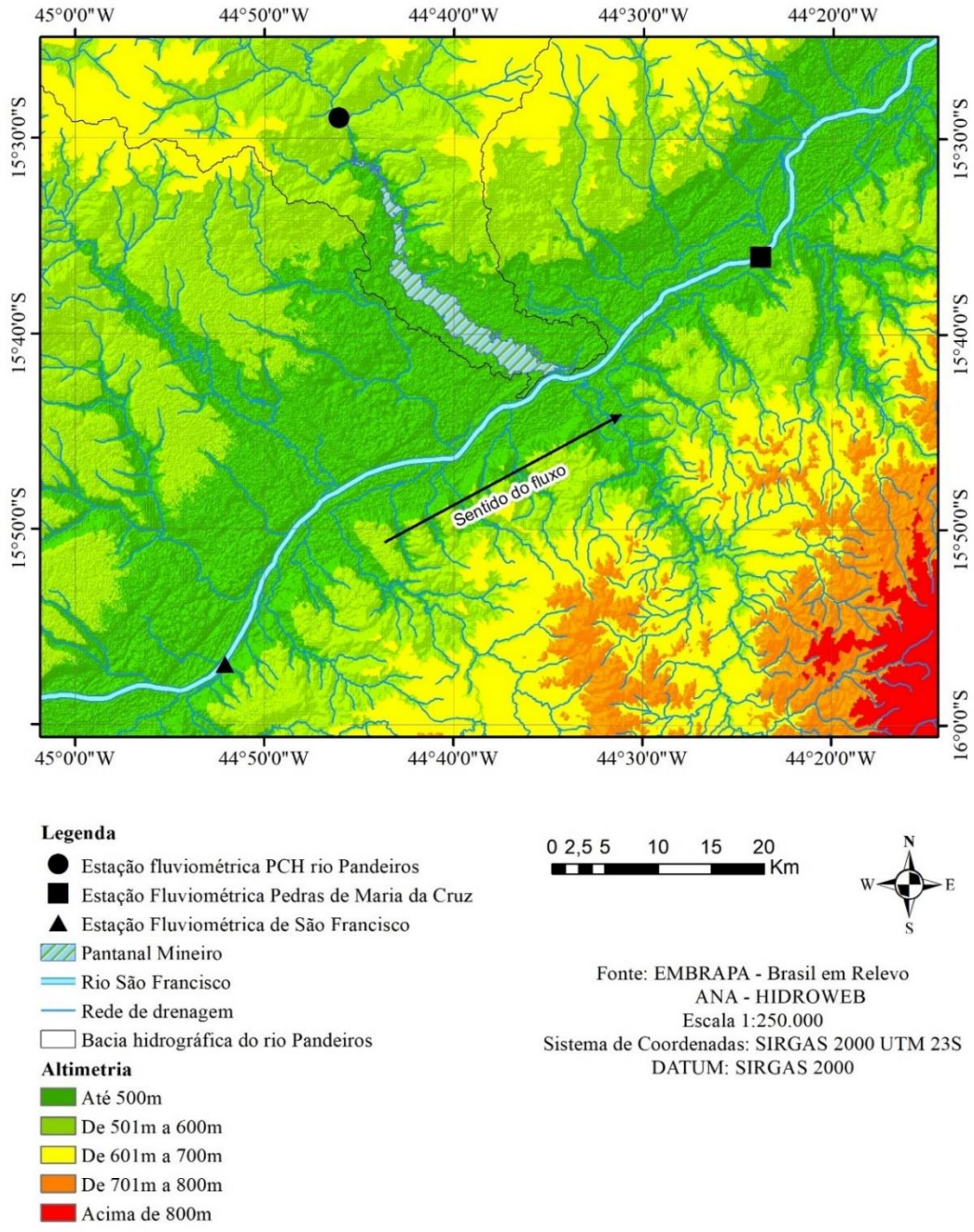
Dos dados disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas – HIDROWEB (https://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf), da Agência Nacional de Águas, foram utilizados os dados convencionais, os arquivos de COTAS em formato .txt, os quais foram importados para o *software* Excel. Foram utilizadas as estações fluviométricas 44200000 no Município de São Francisco, 44290002 no Município de Pedras de Maria da Cruz e 44250000 no Município de Januária, conforme seus dados no quadro 04, e representado na figura 11.

Quadro 04 - Dados de localização e operação das estações fluviométricas utilizadas na pesquisa.

CÓDIGO	OPERADOR	RESPONSÁVEL	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)	ÁREA DE DRENAGEM (KM²)
44250000	CPRM	ANA	S 15° 28' 59,16"	W 44° 46' 5,16"	520,0	3.230
44290002	CPRM	ANA	S 15° 36' 3,96"	W 44° 23' 48,12"	445,0	194.000
44200000	CPRM	ANA	S 15° 56' 57,84"	W 44° 52' 4,08"	448,0	184.000

Fonte: ANA, 2018.

Figura 11 - Localização das estações fluviométricas utilizadas na pesquisa do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019

Foram realizados dois trabalhos de campo para amostragem da água dos dois rios (Pandeiros e São Francisco) durante a ocorrência de pulsos de inundação no rio São Francisco, um em fevereiro de 2018 e o outro em março de 2018, embora vários outras tenham ocorrido em diferentes momentos, ou fases, dos pulsos de inundação. O campo de fevereiro ocorreu no dia 10, quando o PRP já estava inundado há aproximadamente três dias. O campo de março ocorreu no dia 14, aproximadamente quinze horas após o início do pulso de inundação. O quadro 16, apresentado no tópico 5.2.5, exibe os valores do nível do rio São Francisco para os meses de julho de 2017 a julho de 2018, com destaque em negrito para os dias em que houve visita ao PRP inundado.

O campo do dia 14 de março foi possível devido ao alerta, na tarde do dia 13 de março de 2018, de um barranqueiro do rio São Francisco, do povoado de Remansinho, que fica próximo a foz do rio Pandeiros, que alertou que o PRP havia começado a encher naquele momento. A partir desta visita e da confirmação das condições de inundação foi possível identificar que, quando o nível do rio São Francisco atinge uma cota entre 511 cm e 548 cm na estação fluviométrica 44200000, surgem as condições hidrológicas suficientes para inverter o fluxo (refluxo) na foz do rio Pandeiros e a partir desde momento, o PRP começa a ser inundado pelas águas do rio São Francisco.

4.2.3. Mapeamento Pré-amostragem

Após o mapeamento e análise geral da bacia do rio Pandeiros, foi obtida uma caracterização mais detalhada da área de estudo, bem como a produção de novos mapas e dados em nível de maior detalhe. Para isso foram utilizados, principalmente os mapas de geologia, desta vez na escala de 1: 100.000 (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015a, 2015b, 2015c); MDE Alos Palsar e imagens de satélite na série temporal, como apresentado na seção 5.3.1.

Com base nas informações do MDE, foi feito um mapa hipsométrico, com intervalo de altitude de 13 metros, que contribuiu substancialmente para a caracterização em detalhe do baixo curso do rio Pandeiros e do fundo do vale do rio São Francisco. Também foi gerado o perfil longitudinal no Qgis por meio do plugin qProf para o baixo curso do rio Pandeiros, da jusante da PCH até a foz no rio São Francisco. Este perfil longitudinal também foi corrigido manualmente, por meio da classificação manual, filtrando sempre o segmento pela menor cota, visando eliminar erros no perfil topográfico, que mostram uma elevação do canal fluvial a jusante. Este procedimento foi realizado no *software* Excel.

Esta fase do trabalho resultou na identificação de diferentes características ao longo do PRP classificadas e delimitadas por cotas topográficas e pelas características do perfil longitudinal do rio Pandeiros no Pantanal, corroboradas por observações das imagens de satélite. Os resultados desta classificação são encontrados em Oliveira *et al.* (2019).

Com base nesses dados, a área do PRP pode ser dividida em 4 subunidades: i) P1 – Alto Pantanal; ii) P2 – Médio Pantanal; iii) P3 – Baixo Pantanal; e iv) P4 - Foz do rio Pandeiros e Sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco. As áreas de amostragem para todas as técnicas aplicadas foram orientadas para que em cada uma delas tivessem amostras de cada subunidade hidrogeomorfológica do PRP, visando sua caracterização, embora isto não tenha sido possível de ser concretizado com todas as técnicas utilizadas. O mapa geral de amostragem do trabalho é apresentado na figura 12**,** e pode ser utilizado como referência para a localização das amostras coletadas na Etapa de campo no tópico 4.3 apresentado a seguir.

Figura 12 - Mapa geral de amostragem da tese

SUBUNIDADE P1: ALTO PANTANAL

SUBUNIDADE P2: MÉDIO PANTANAL

SUBUNIDADE P3: BAIXO PANTANAL

SUBUNIDADE P4: FOZ DO RIO PANDEIROS E SISTEMAS DE LAGOAS MARGINAIS DO RIO SÃO FRANCISCO

ESCALA DE DETALHE: SUBUNIDADE P2: MÉDIO PANTANAL

ESCALA DE DETALHE: SUBUNIDADE P3: BAIXO PANTANAL

ESCALA DE DETALHE: SUBUNIDADE P1: ALTO PANTANAL

ESCALA DE DETALHE: SUBUNIDADE P4: FOZ DO RIO PANDEIROS E SISTEMAS DE LAGOAS MARGINAIS DO RIO SÃO FRANCISCO

ESCALA DA BACIA E RIO SÃO FRANCISCO

Legenda

- Estação fluviométrica de São Francisco
- Estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz
- Estação Fluviométrica da PCH do rio Pandeiros
- Datação radiocarbono (14C)
- Amostras 10Be
- Eletrorresistividade
- Piezômetros
- Tradagem em profundidade
- Transecto T1w
- Transecto T2w
- Transecto T3w
- Transecto T4w
- Transecto T5w
- Amostras H2O análise fisica e química
- Amostras 2H e 18O
- Transectos GPR
- Área inundada em janeiro de 1992
- Bacia hidrográfica do rio Pandeiros

Imagem Rapideye R5G4B1 RGB

- Red: Band_1
- Green: Band_2
- Blue: Band_3

- Rio São Francisco
- Rede de drenagem do rio Pandeiros

Bases cartográficas:
IDESISEMA, 2015.
Imagem de satélite:Rapideye
Data: 20 dedezembro de 2012
Sistema de Coordenadas: UTM 23S
Datum: SIRGAS 2000
Elaboração: Diego Alves de Oliveira
Ano: 2019

Mapa geral de amostragem da tese

"WETLAND" COMO UNIDADE HIDROGEOMORFOLÓGICA NO CONTEXTO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E O SEMIÁRIDO MINEIRO: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros - MG

Autor: Diego Alves de Oliveira
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia
Programa de Pós-graduação em Geografia

4.3. Etapa de Trabalhos de Campo

4.3.1. Trabalhos Preparatórios

A partir da integração da análise do material produzido pelo levantamento bibliográfico e das bases cartográficas disponíveis e até então produzidas, considerando também o mapeamento geomorfológico como uma ferramenta importante para a consecução da etapa de pré-campo, foi realizada uma primeira delimitação de áreas significativas, tendo em vistas as hipóteses e objetivos da pesquisa, de amostragem no PRP.

Trabalho de campo foi conduzido, em outubro de 2015, visando a identificação dos pontos de amostragem, acesso a partir da definição de vias de transporte e principalmente a validação do mapeamento dos domínios geomorfológicos propostos, e que serviu de base para distribuir os pontos amostrais. Após o aperfeiçoamento da proposta amostral dos dados de geocoberturas, foi realizado outro trabalho de campo, em janeiro de 2016, para a identificação e delimitação dessas áreas de amostragem, além da obtenção *in loco* de informações preliminares da área do PRP incluindo um percurso de barco ao longo do canal do rio Pandeiros, desde a Fazenda do Sr. Pedro Neves Ferreira (Subunidade P2), até a foz do rio Pandeiros.

Neste percurso de barco, que foi realizado durante estação chuvosa na qual o PRP se encontrava parcialmente inundado, foi possível registrar a existência de diferentes alturas das margens do rio Pandeiros, que vão diminuindo em direção às proximidades da Torre de observação do Instituto Estadual de Florestas (IFF). Nas proximidades da Lagoa do Saputá, as margens do Pandeiros vão ficando cada vez mais altas, até que o canal do rio volta a se concentrar e, próximo a foz do rio, as margens ficam muito altas (Figura 13). Este registro foi particularmente importante para a identificação de diferentes unidades geomorfológicas, e possivelmente, de dinâmicas existentes no PRP, observação que se mostrou consistente com a realidade, ao longo das demais etapas de realização do trabalho.

Figura 13 - Diferenças nas margens do rio Pandeiros ao longo do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Após a definição de que cada unidade geomorfológica classificada no PRP seria amostrada, foram definidas 4 “áreas” de amostragem, localizadas próximas à parte central de cada uma, tendo em vista as condições de acessibilidade e facilidade de execução das técnicas de amostragem propostas. Estas áreas, precisariam estar especialmente mais próximas, levando a uma caracterização mais completa de cada subunidade, como já foi apresentado no tópico 4.2.3.

4.3.2. Trabalhos de campo para coleta de amostras e aquisição de dados

Esta etapa, essencial para o desenvolvimento da pesquisa, envolveu a coleta de dados, a instalação de equipamentos, observações e medições sistematizadas de vários parâmetros, além da coleta de amostra de geocoberturas para análises laboratoriais posteriores: ^{10}Be, caracterização física, química e isotópica da água, monitoramento do nível da água, delimitação dos sítios geomorfológicos, análises de geocoberturas, GPR, eletrorresistividade, e datação por ^{14}C. Em virtude da complexidade da dinâmica hidrogeomorfológica da área de estudo, da logística de locomoção e disponibilidade de recursos humanos e materiais, foi necessária a

realização de vários trabalhos de campo (Quadro 05), alguns com agendamento prévio e outros de caráter urgente, buscando atender às variações das condições hidrológicas existentes no PRP.

Quadro 05 - Relação de trabalhos de campo com seus respectivos objetivos realizados durante a pesquisa.

ANO	MÊS	OBJETIVOS E ATIVIDADES
2016	Janeiro	Análise de vertentes e coleta de amostras de geocoberturas.
	Março	Análise de vertentes e coleta de amostras de geocoberturas e reconhecimento de campo do PRP.
	Julho	Coleta de dados de GPR.
2017	Fevereiro	Análise de vertentes e coleta de amostras de geocoberturas e de água na estação úmida.
	Março	Análise de GPR e coleta de amostras para ^{14}C.
	Maio	Reconhecimento de campo e treinamento para coleta de amostras para ^{10}Be
	Julho	Instalação de piezômetros
	Outubro	Análise de vertentes e coleta de amostras de geocoberturas e de água na estação seca. Verificação do funcionamento dos piezômetros.
2018	Janeiro	Coleta de amostras para análise de ^{10}Be.
	Fevereiro	Coleta de amostras de água para análise de traçadores isotópicos (durante inundação do PRP).
	Março	Coleta de amostras de água para análise de traçadores isotópicos (início da inundação do PRP).
2019	Maio	Coleta de dados de GPR e tradagem em profundidade para auxiliar a interpretação dos dados de GPR.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.3.3. Amostragem para Análise de ^{10}Be

A mensuração da concentração dos nuclídeos cosmogênicos ^{10}Be em sedimentos aluviais é feita para calcular a taxa média de desnudação de uma bacia hidrográfica (MARRENT, 2011; BEZERRA (2018).

As amostras desta pesquisa foram coletadas no fundo de canais ativos em 4 pontos da bacia do rio Pandeiros, incluindo nas proximidades da foz dos seus 2 principais afluentes: na margem esquerda do Catolé e na margem direita do Pindaibal. As outras 2 amostras foram obtidas, uma, no alto curso do rio Pandeiros, e a outra, no baixo curso, antes da barragem da PCH, (ver tópico 4.2.3), como pode ser observado nas figuras 12, 14 e 15. De maneira manual, foram coletados aproximadamente 1 kg de sedimentos do fundo dos canais, posteriormente acondicionados em sacos plásticos resistentes ao transporte, devidamente identificados e etiquetados, levados para secagem no Laboratório de Geomorfologia do IGC/UFMG.

O desenho amostral para cálculo da taxa média de desnudação da bacia foi condicionado pela identificação dos Domínios Geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros mapeados (Figura 38) e com vistas à detecção de quais dessas regiões contribuíam mais ou menos para o aporte de sedimentos no PRP. A amostra que representa a taxa média de erosão da bacia é a amostra do baixo curso do rio Pandeiros, considerada como a carga de sedimentos que efetivamente chega até o PRP. Para a seleção dos pontos de amostragem dos domínios geomorfológicos da margem esquerda e direita do rio Pandeiros, como existe mais de um afluente de cada lado, foram amostrados os maiores, que correspondem, no lado esquerdo, ao Ribeirão Catulé e do lado direito, ao Córrego Pindaibal (Figura 15).

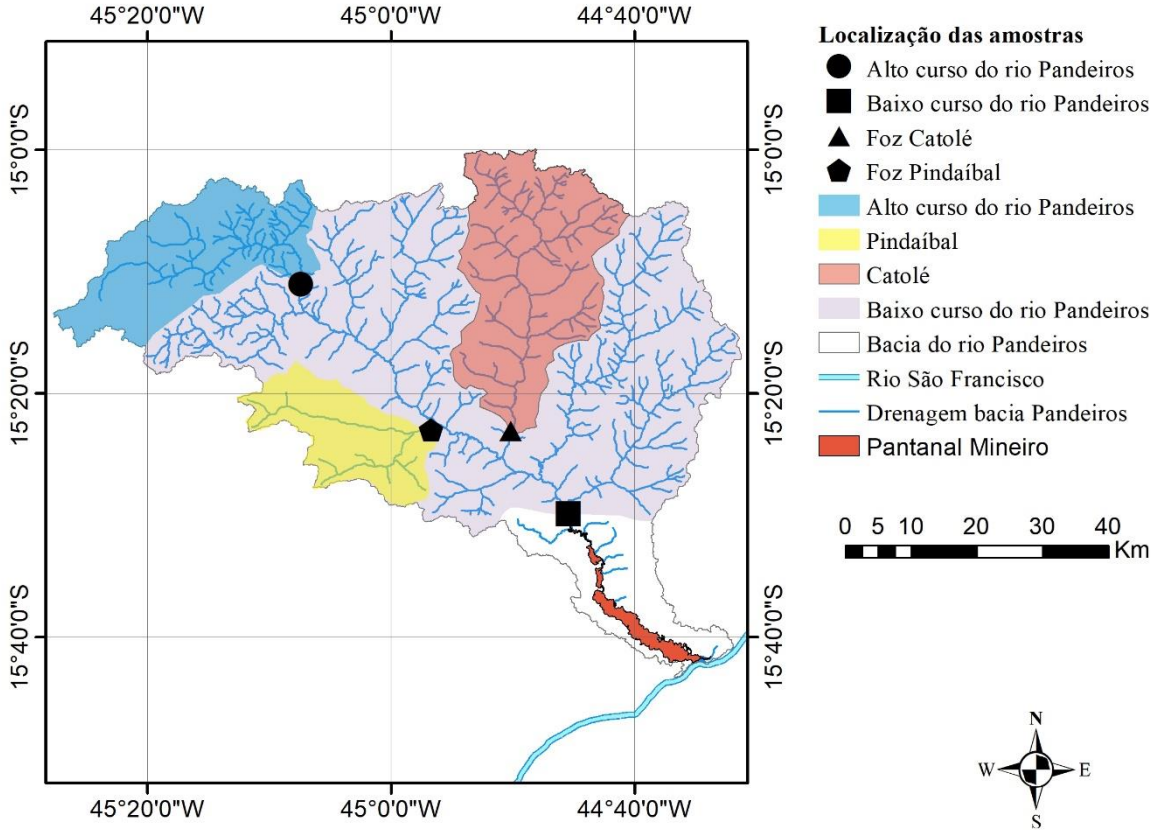
Não foram coletadas amostras na área do PRP devido à possibilidade de mistura de sedimentos oriundos do rio São Francisco, os quais poderiam influenciar nos resultados obtidos, e por ser um ambiente onde os processos agradacionais, presume-se, são predominantes.

Figura 14 - Fotografias dos locais de coleta de amostras para análise de ^{10}Be.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 15 - Localização da coleta de amostras para análise de ^{10}Be na bacia do rio Pandeiros.



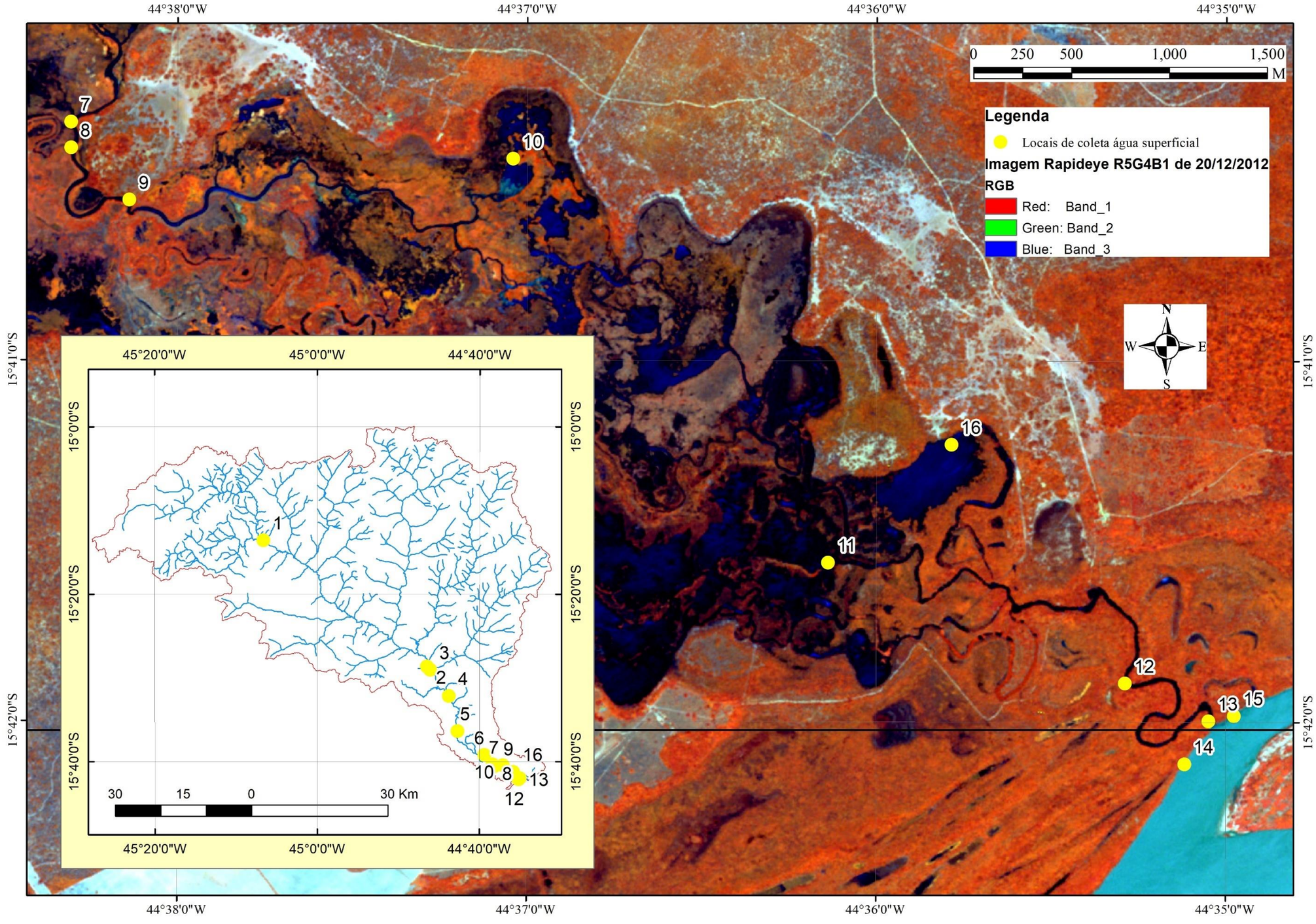
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.3.4. Coleta de amostras de água para caracterização física e química

Para a caracterização física e química da água superficial do PRP, esta foi amostrada em 2 momentos, durante a estação chuvosa em fevereiro de 2017 e na estação seca, em setembro de 2017. Foram amostrados 16 locais, distribuídos ao longo da bacia hidrográfica do rio Pandeiros e na sua foz, quando aflui para o rio São Francisco. Há uma concentração amostral na área do PRP, mas foram coletadas amostras em outros locais: no alto curso do rio Pandeiros, a montante da *wetland*, bem como antes da foz do rio Pandeiros e logo após a sua foz, já nas águas do rio São Francisco (Figuras 12 e 16).

A coleta de amostras para a análise e caracterização da água superficial do PRP, foi realizada de modo a identificar as características e propriedades da água e dos sólidos dissolvidos, típicas de cada bacia hidrográfica que influencia o PRP: do rio Pandeiros, e as do São Francisco. Para isto, foi amostrada a montante e a jusante da foz do rio Pandeiros e, de modo mais detalhado e com maior densidade de amostras, a área do PRP os pontos de coleta de amostras utilizados nesta metodologia estão indicados no tópico 4.2.3 e nas figuras 12 e 16.

Figura 16 - Mapa de localização de coleta de amostras para análise física e química da água superficial na bacia do rio Pandeiros, incluindo no Pantanal e no rio São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

No ponto 1, a coleta foi realizada para identificar as propriedades da água no alto curso do rio Pandeiros, próximo da sua nascente; nos pontos 2 e 3, que são muito próximos entre si; o objetivo foi o de caracterizar as propriedades da água do rio Pandeiros após a maior parte dos afluentes desaguarem nele. Por isso, os pontos 2 e 3 se localizam imediatamente à montante do lago da PCH do rio Pandeiros.

A amostra 4 foi coletada no primeiro ponto de amostragem da área do PRP, logo após a PCH e a foz do rio Mandim (subunidade P1). Juntamente com a do ponto 5, elas representam as propriedades da água onde o rio Pandeiros se concentra em um único canal e neste trecho, atravessa várias áreas com afloramento de rochas areníticas e calcárias.

O ponto 6 de coleta, (subunidade P2), corresponde à porção na qual o rio Pandeiros também se concentra em um único canal e não há afluentes ou lagoas permanentes que sejam afluentes dele, há apenas uma conexão subsuperficial.

Os pontos 7, 8, 9, 10, 11 e 16 representam a subunidade P3 onde o canal do rio Pandeiros começa a se dispersar entre vários meandros, lagoas temporárias e permanentes, configurando a parte mais ativa do PRP, sendo que o ponto 16 está na Lagoa do Saputá.

As amostras dos pontos 12 e 13 foram coletadas na subunidade P4 a qual é diretamente influenciada pelo rio São Francisco durante os episódios de inundação, que pode, inclusive, causar um refluxo do rio Pandeiros ao lhe inverter o fluxo, caracterizando uma cheia pelo fluxo do rio São Francisco.

Já os pontos 14 e 15, buscam representar as propriedades físicas e químicas das águas do rio São Francisco, a cerca de 100 m a montante da foz do rio Pandeiros (ponto 14), e a cerca de 100 m a jusante da foz do rio Pandeiros, ponto 15.

As amostras foram coletadas entre 30 cm até 50 cm de profundidade e armazenadas em frascos de plástico devidamente identificados e etiquetados, anteriormente limpos ao menos 3 vezes em água corrente e ambientados no local da coleta (Figura 17).

As coletas foram realizadas na porção central do canal do rio Pandeiros, e no Pantanal e no rio São Francisco, foi utilizado um barco. As amostras do canal do rio São Francisco foram coletadas na margem esquerda, enquanto na área do PRP, na sua parte central, nas margens de lagoas ou no centro do canal de drenagem, dependendo do caso (Figuras 16 e 17). Após a coleta, foram armazenados em um refrigerador no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG, e lá permaneceram até a realização da filtragem e análises.

Figura 17 - Coletas de amostra de água realizadas em 10 de fevereiro de 2017 (esquerda) e em 2 de outubro de 2017 (direita).



Fonte: LIMA, 2017.

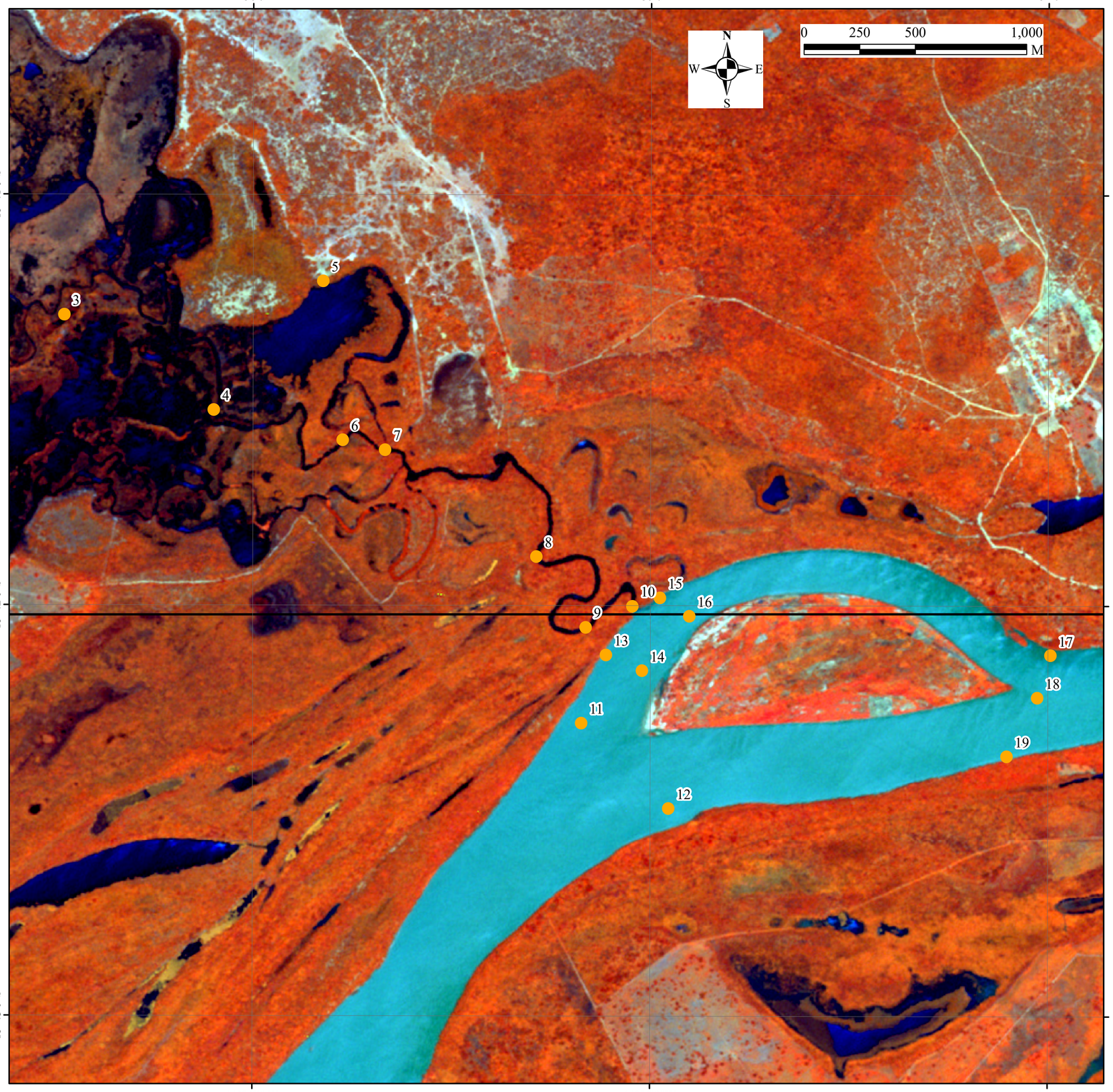
4.3.5. Coleta de amostras de água para análise de traçadores isotópicos ^{2}H e ^{18}O

Os pontos de coleta para análise dos isótopos ^{2}H e ^{18}O estão indicados no tópico 4.2.3 e nas figuras 12 e 18. Eles estão concentrados principalmente no baixo curso do rio Pandeiros e na área da foz do rio Pandeiros no rio São Francisco. O principal critério para a definição desta coleta nas águas no rio Pandeiros, São Francisco e no PRP foi o temporal, pois teve que coincidir com os períodos de inundação do PRP, decorrente dos pulsos de inundação do rio São Francisco. Isto foi essencial para aceitar, ou não, a hipótese desta pesquisa, que afirma que as águas do rio São Francisco podem iniciar a inundação do PRP, podendo, no mesmo evento, serem, posteriormente, substituídas pelas águas do próprio rio Pandeiros, a depender a dinâmica hidrológica da inundação. Por este motivo não foram coletadas, neste trabalho, amostras durante a estação seca, pois esta representa a fase drenada do PRP, que é uma *wetland* temporariamente inundada.

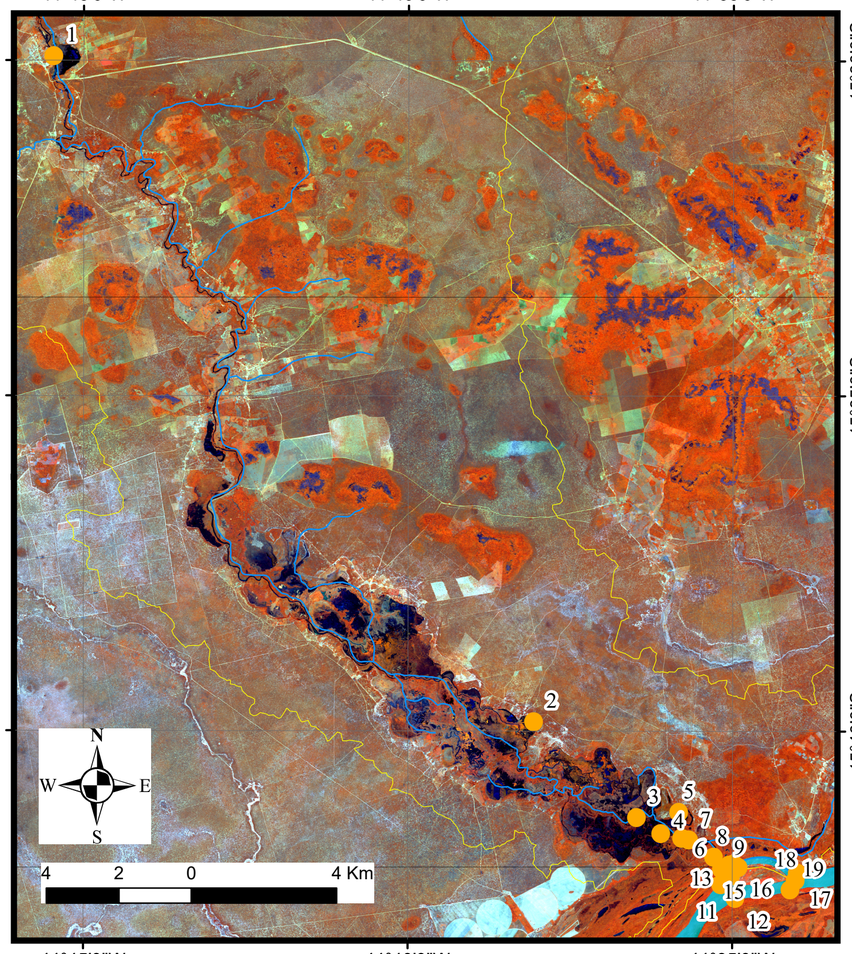
As amostras 1 e 2 visam identificar as propriedades isotópicas das águas da bacia do rio Pandeiros, enquanto as amostras 11, 12, 13, 14 e 19 buscam representar as propriedades isotópicas das águas do rio São Francisco antes da foz do rio Pandeiros. As amostras 15, 16, 17 e 18 visam caracterizar a assinatura isotópica da água no momento e imediatamente após a foz do rio Pandeiros (Figuras 12 e 18). As demais amostras, de 3 a 10, buscam caracterizar a distribuição das assinaturas isotópicas na área do PRP permitindo correlacionar os valores encontrados com possíveis afinidades entre as águas do rio Pandeiros ou do rio São Francisco.

Figura 18 - Localização da coleta de amostras para análise de 2H e 18O na bacia do rio Pandeiros, no PRP e no rio São Francisco durante os pulsos de inundação em fevereiro e março de 2018.

Zoom para a área da foz do rio Pandeiros, onde se concentrou a amostragem realizada para análise de 2H e 18O



Zoom geral do baixo curso do rio Pandeiros (Pantanal Mineiro)



Legenda

- Localizacao amostras 2H e 18O
- Rede de drenagem do rio Pandeiros
- Bacia hidrográfica do rio Pandeiros

Imagem Rapideye de 20/12/2012 RGB

- Red: Band_1
- Green: Band_2
- Blue: Band_3

Bases cartográficas:
IDESISEMA, 2015.
Imagem de satélite:Rapideye
Data: 20 dedezembro de 2012
Sistema de Coordenadas: UTM 23S
Datum: SIRGAS 2000
Elaboração: Diego Alves de Oliveira
Ano: 2019

Localização da coleta de amostras para análise do fracionamento isotópico de Deutério (2H) e Oxigênio (18O) no Pantanal do rio Pandeiros.

"WETLAND" COMO UNIDADE HIDROGEOMORFOLÓGICA NO CONTEXTO DE TRANSIÇÃO ENTRE O CERRADO E O SEMIÁRIDO MINEIRO: análise da dinâmica do Pantanal da bacia de drenagem do rio Pandeiros - MG

Autor: Diego Alves de Oliveira

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Departamento de Geografia
Programa de Pós-graduação em Geografia

A 1ª coleta das amostras foi realizada no dia 10 de fevereiro de 2018. Neste dia, o PRP estava inundado parcialmente até a subunidade P3, com águas predominantemente oriundas do rio Pandeiros, mas em algumas lagoas, e inclusive nas margens do rio canal do rio Pandeiros na subunidade P4, ainda havia águas do rio São Francisco, pois durante a realização de trabalho de campo para coleta de amostras foi possível discriminar as águas com sedimentos (oriundas do rio São Francisco) e sem sedimentos (oriundas do PRP), sendo que em determinados trechos do rio Pandeiros, na área central do canal a água era clara e nas duas margens, cheia de sedimentos.

A 2ª coleta de água para a análise isotópica foi realizada desta vez imediatamente no início do pulso de inundação do rio São Francisco. A coleta foi realizada no dia 14 de março de 2018, pela manhã, há menos de 12 horas após o nível do rio São Francisco ter aumentado a ponto de inverter o fluxo da água do rio Pandeiros.

Na amostragem foram coletados 30 ml de água entre 20 cm e 30 cm sob a superfície da água e fechados para evitar a formação de bolhas. O frasco utilizado foi de vidro âmbar, etiquetado/identificado e previamente limpo, após a realização de ambiente no local da coleta por 3 vezes, tendo sido fechado com batoque para evitar a evaporação e perda de material. Foram acondicionados em recipiente térmico e encaminhadas ao Laboratório de Espectrometria de Massas de Razão Isotópica do CDTN para análise.

4.3.6. Instalação e coleta de dados dos piezômetros

Foram instalados 5 piezômetros com *dataloggers*, sendo 4 em lagoas e 1 em um canal de vereda degradada no PRP, buscando amostrar longitudinalmente o regime de flutuação do nível freático em cada uma das subunidades mapeadas e que serviram de base para a amostragem nesta pesquisa. As leituras foram iniciadas no dia 27 de julho de 2017 e encerradas no dia 14 de setembro de 2018. O piezômetro utiliza a altura da coluna d'água para medir a pressão exercida sobre ele. Contém também um dispositivo, que não fica submerso, que mede a pressão atmosférica, funcionando como um barômetro. Nos piezômetros submersos, a pressão atmosférica somada à pressão da coluna de água sobre eles, é utilizada para mensurar a variação do nível da água (SCHLUMBERGER WATER SERVICES, 2010). Assim, quanto maior a coluna d'água sobre o piezômetro, maior pressão será exercida sobre ele. Estes valores são armazenados no *datalogger* e, posteriormente baixados e tratados no *software* SWS's *Diver-Office*. Os *Divers* também medem a temperatura a fim de compensar os efeitos desta sobre os sensores de pressão (SCHLUMBERGER WATER SERVICES, 2010).

Os medidores utilizados foram o *Mini-Diver*, feito de aço inoxidável, com 22 mm de diâmetro e com capacidade máxima de armazenamento de 24.000 medidas. Foi utilizado também o *Baro-Diver*, para medir a pressão atmosférica e para compensar a pressão atmosférica medida nos demais *Divers*. Como os demais, ele é feito de aço inoxidável, possui 22 mm de diâmetro e capacidade de armazenar 24.000 medidas (SCHLUMBERGER WATER SERVICES, 2010).

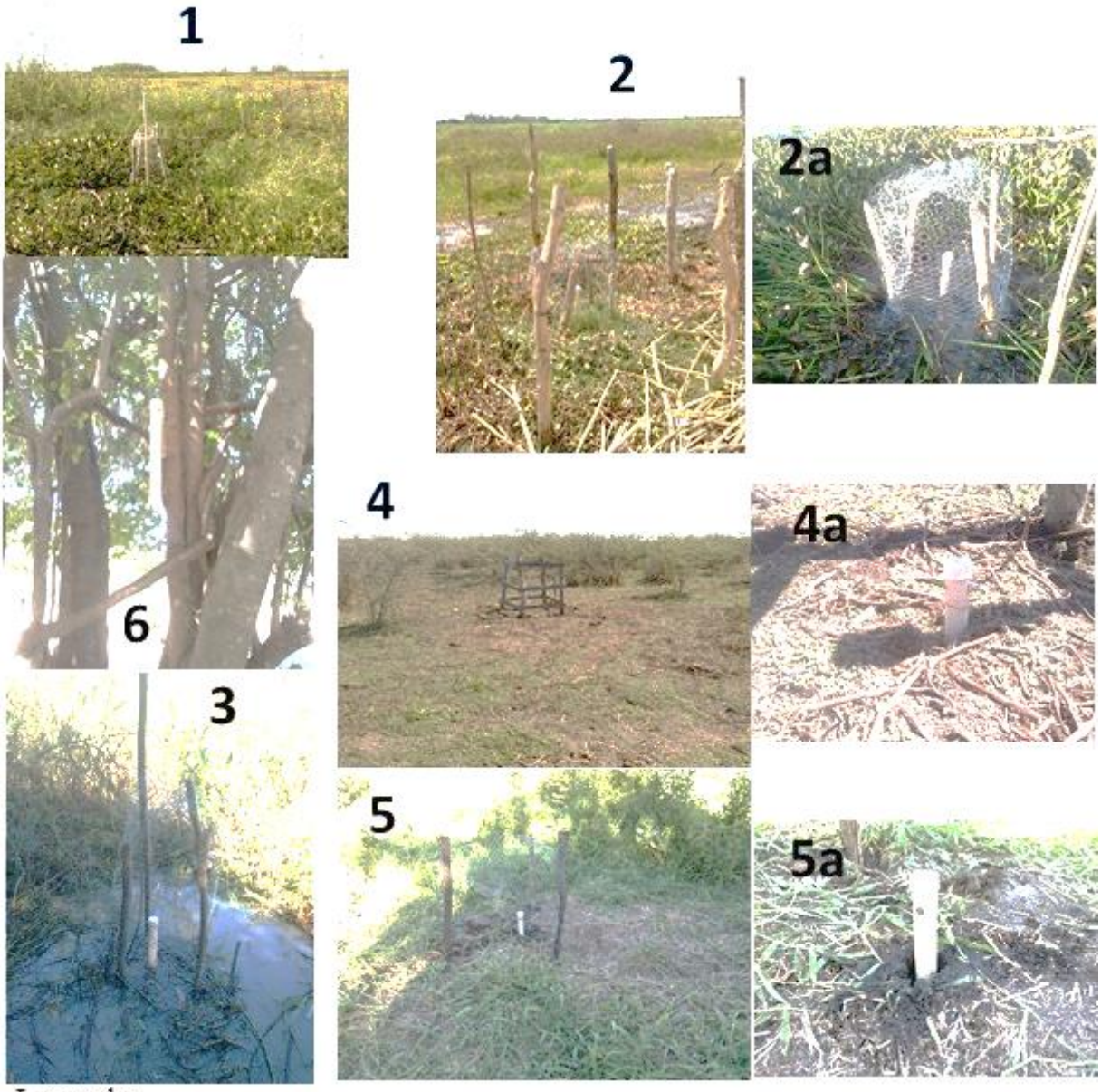
Para a instalação deles, foram utilizados tubos de pvc com 50 mm de diâmetro, os quais foram perfurados com 5 cm de espaçamento em 4 lados do tubo, para permitir a entrada e saída de água. Foi inserida a tampa na ponta inferior do tubo, sendo o mesmo inserido em um buraco feito na área de instalação (Figura 19). Os buracos foram abertos manualmente e, com auxílio de um trado movimentado por percussão. Cada *diver* foi instalado à uma profundidade diferente, dependendo da área, mas não ultrapassando os 3m de profundidade.

Na ponta superior do tubo foi inserido um parafuso, e neste, suspenso por um cabo de aço fino preso por conector parafusado, ficou o piezômetro suspenso até a profundidade próxima da ponta inferior do tubo, acima do sedimento depositado no tubo e abaixo do nível de água no período da tomada das medidas. O topo do tubo foi fechado também com uma tampa. O barômetro foi preso em uma árvore, também protegido por um tubo de pvc, de modo similar aos piezômetros. A figura 19 ilustra o local e a instalação dos tubos, onde estão os piezômetros.

A localização da instalação está indicada no tópico 4.2.3 e nas figuras 12 e 20. Eles estão dispostos longitudinalmente ao longo rio Pandeiros em cada uma de suas subunidades no PRP. O barômetro foi instalado próximo aos piezômetros 2 e 3, de modo a ficar mais equidistante entre todos os medidores. Os medidores 1, 2 e 3 representam as subunidades P3 e P4, áreas mais ativas da inundação, e os medidores 4 e 5 representam as subunidades P2 e P1, respectivamente, sendo as áreas com uma inundação menos frequente.

Foi realizada uma leitura dos dados em setembro de 2017 para verificação de seu funcionamento e em setembro de 2018 foi realizada a última coleta, para produção de informações para a tese. A coleta dos dados é realizada com o auxílio de um leitor usb, que por meio de um computador, faz o *download* deles. Após a coleta, o sensor é reintroduzido no tubo. A leitura não deve ocorrer durante a virada de hora (0 minutos) e não deve ser realizada minutos antes deste momento, sob o risco de alterar a leitura da temperatura do *diver* pois a leitura dos sensores é realizada a cada uma hora.

Figura 19 - Locais de instalação dos piezômetros no PRP.

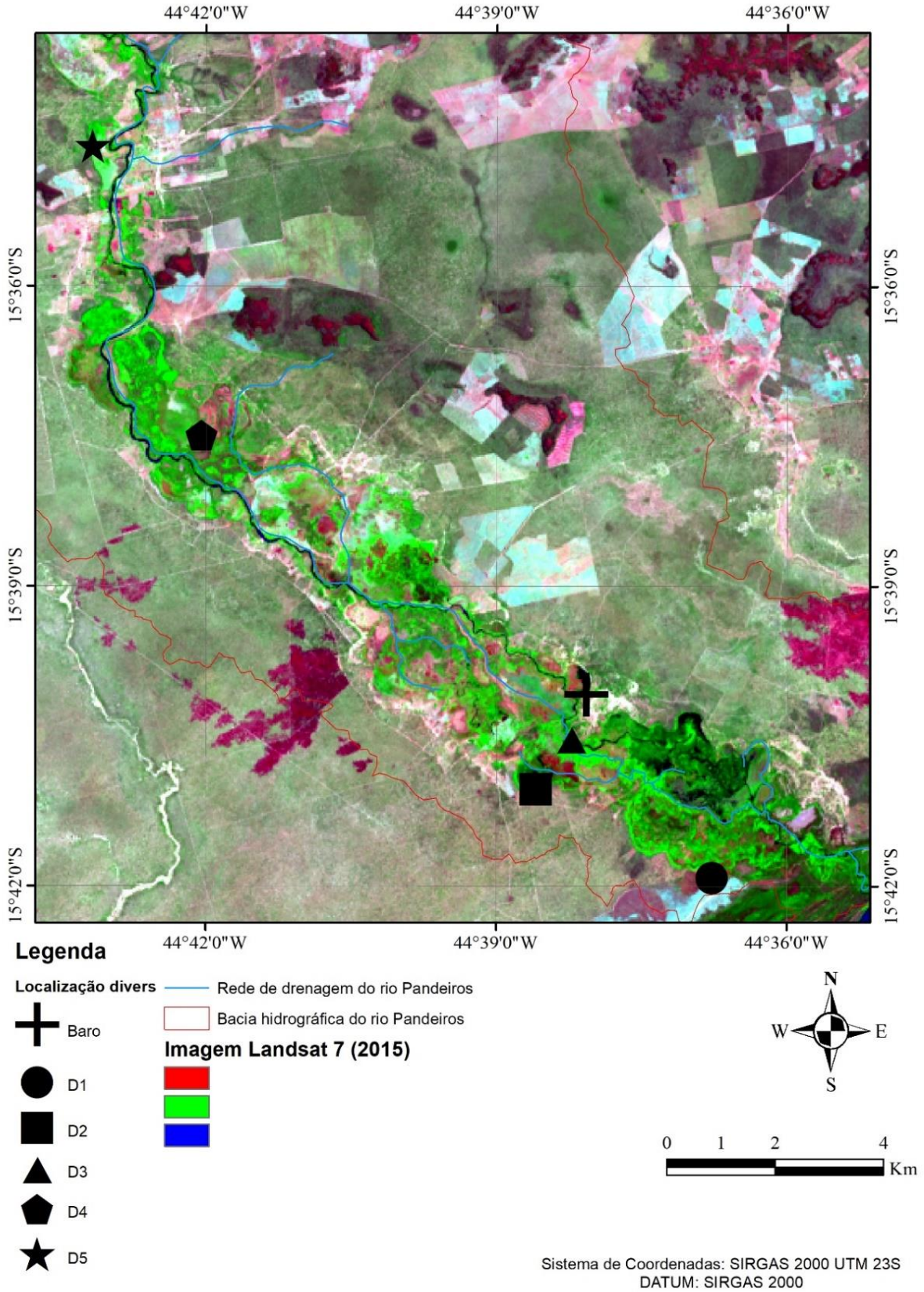


Legenda:

1: local de instalação do piezômetro 1. na subunidade P4 do Pantanal.
2: local de instalação do piezômetro 2. na subunidade P3 do Pantanal.
2a: zoom detalhe do tubo do piezômetro 2.
3: local de instalação do piezômetro 3. na subunidade P3 do Pantanal.
4: local de instalação do piezômetro 4. na subunidade P2 do Pantanal.
4a: zoom detalhe do tubo do piezômetro 4.
5: local de instalação do piezômetro 5. na subunidade P1 do Pantanal.
5a: zoom detalhe do tubo do piezômetro 5.
6: local de instalação do barômetro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 20 - Mapa de localização dos piezômetros nas subunidades do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.3.7. Delimitação dos sítios geomorfológicos

A análise de vertentes seguiu método proposto por Augustin (1979) para a amostragem das mesmas em cada uma das subunidades (P1, P2, P3 e P4), como pode ser visualizado em detalhes no tópico 4.2.3. A escolha da área em cada subunidade, teve como base, além da sua representatividade geomorfológica, a facilidade de acesso e deslocamento da porção mais alta até o fundo do vale. As medidas para a identificação e caracterização da forma seguiram os seguintes procedimentos: após demarcada a direção do escoamento superficial da água, seguindo o *true slope*, e sempre partindo sempre da alta vertente, fez-se a leitura do azimute principal do transecto com auxílio de bússola. A medida da inclinação da vertente ao longo transecto foi realizada com o auxílio de um clinômetro Suunto de leitura direta, medidas em graus (transformadas em sistema decimal), um jogo de 3 balizas de 2 metros de altura, com identificação de 0,5 metro alternadamente em branco e vermelho, mantendo sempre uma equidistância regular de 30 metros entre elas, garantindo o ponto de referência da declividade e o azimute originalmente medido com uma bússola Brunton (AUGUSTIN, 1979). Ao término da leitura da declividade do transecto, foi feita a delimitação dos Sítios Geomorfológicos, com base nos dados obtidos pelo clinômetro.

Desde o início do transecto foram anotadas outras informações e registradas medidas de outros elementos da vertente (ex. as coordenadas geográficas do ponto inicial, cobertura vegetal), indícios de processos de erosão e deposição, bem como qualquer feição ou evidência que indiquem a dinâmica ao longo da vertente e que possa se mostrar útil para a análise posterior dos dados (AUGUSTIN, 1979), como indicado nos procedimentos do próximo subtópico.

4.3.8. Levantamento de informações e coleta de amostras das geocoberturas superficiais com base nos Sítios Geomorfológicos

Para dar continuidade na análise das vertentes do PRP, na dimensão de sua composição, que compreende três categorias, conforme o quadro 06:

Quadro 06 - Categorias e componentes da vertente.

CATEGORIAS E COMPONENTES DA VERTENTE	
Categorias	Exemplos
a) Cobertura superficial:	Vegetação;
	Material inconsolidado;
	Areia;
	Capa silto-argilosa;
	Serapilheira;
	Turfa;
	Pedregosidade (seixos, cascalho, matacão).
b) Uso e ocupação da terra:	Natural;
	Agricultura temporária;
	Agricultura permanente;
	Outros usos (urbano, mineração);
	Pastagem.
c) Subsuperfície:	Regolito (solo, matéria orgânica, saprólito);
	Rocha;
	Água (sob diversas formas).

Fonte: Augustin, 1979.

Foram realizadas descrição e coleta de material da geocobertura em perfis abertos na porção central de cada Sítio Geomorfológico de 5 transectos característicos de cada 4 subunidades hidrogeomorfológicas do PRP (Figura 21).

Os procedimentos basearam-se metodologia apresentada por Santos *et al.* (2015), com adaptações, principalmente no que se refere a caracterização e descrição de solos, quando em campo verificada, por exemplo, presença de camadas de materiais depositados, sendo classificados como sedimentos, ou quando havia grande presença de MO nos depósitos localizados principalmente nos fundos de vale.

Ao todo, foram abertos 23 perfis e caracterizados 115 horizontes ou camadas de geocoberturas, gerando 115 amostras para análise em laboratório, durante vários trabalhos de campo entre os anos de 2016 e 2017, conforme o quadro 07. A caracterização da cobertura superficial das vertentes foi também registrada na ficha respectiva de cada perfil analisado (Apêndice O).

Quadro 07 - Relação dos transectos e perfis amostrados nas subunidades do PRP.

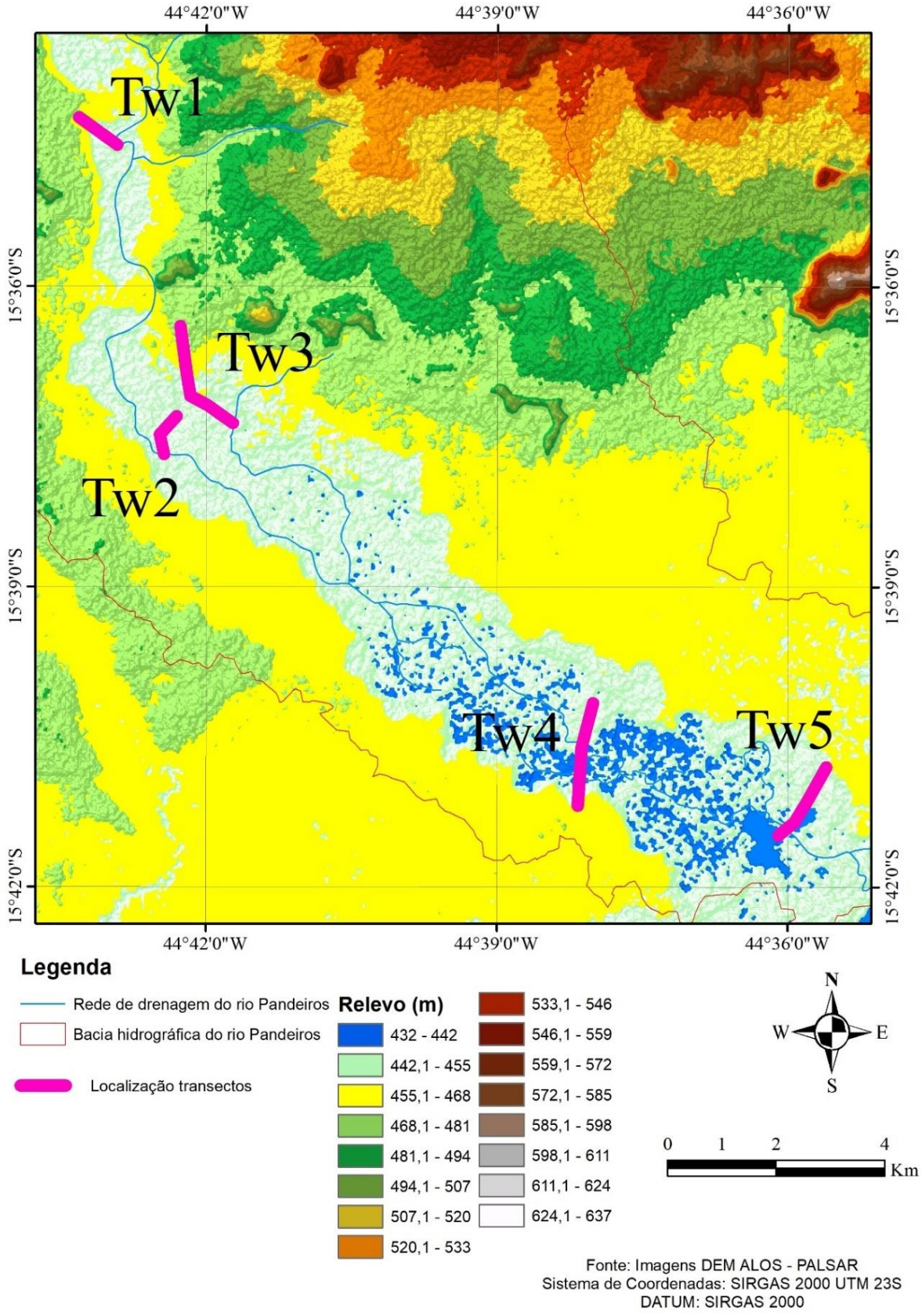
SUBUNIDADE DO PRP	TRANSECTO	PERFIL	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
P1	1w	P1	15°34'23.75"S	44°43'11.79"O	470
		P2	15°34'25.65"S	44°43'8.47"O	463
		P3	15°34'27.52"S	44°43'5.36"O	463
		P4	15°34'34.32"S	44°43'1.09"O	468
P2	2w	P1	15°37'21.10"S	44°42'20.20"O	459
		P2	15°37'28.00"S	44°42'29.20"O	460
		P3	15°37'40.10"S	44°42'25.80"O	463
	3w	P1	15°36'31.50"S	44°42'12.90"O	482
		P2	15°36'54.90"S	44°42'8.80"O	468
		P3	15°37'0.00"S	44°42'8.20"O	465
		P4	15°37'2.20"S	44°42'7.30"O	466
		P5	15°37'6.92"S	44°42'5.84"O	465
		P6	15°37'10.89"S	44°42'2.67"O	463
		P7	15°37'15.67"S	44°41'51.35"O	461
P3	4w	P1	15°40'19.68"S	44°38'2.55"O	460
		P2	15°40'33.13"S	44°38'7.73"O	459
		P3	15°40'42.34"S	44°38'8.52"O	456
		P4	15°40'55.78"S	44°38'8.03"O	457
P4	5w	P1	15°40'56.11"S	44°35'40.61"O	461
		P2	15°41'10.51"S	44°35'50.33"O	459
		P3	15°41'13.67"S	44°35'51.30"O	456
		P4	15°41'17.87"S	44°35'52.87"O	456
		P5	15°41'26.29"S	44°36'2.49"O	458

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os perfis foram abertos com auxílio de ferramentas manuais, considerando como limite de profundidade a ser examinado o afloramento do nível freático, ou quando, a partir de 1,5 m de profundidade, aproximadamente, ocorria camada ou horizonte muito homogêneo, sem alteração visual. A identificação do material a ser coletado no perfil e sua descrição, baseou-se nas mudanças de características qualitativas, tais como a cor, resistência a penetração de faca e a presença de outras estruturas que pudessem diferenciar os mesmos (SANTOS *et al.*, 2015).

Foi recolhida cerca de 3 kg de amostra em cada camada ou horizonte, que posteriormente foi acondicionada, após etiquetagem de identificação (subunidade na qual pertencia a amostra; número do transecto, ponto na vertente, número do perfil e profundidade) para fins de análises físicas e químicas no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (Figura 21).

Figura 21 - Localização dos transectos amostrados no PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.3.9 Coleta de dados de GPR

A metodologia de aquisição de dados de GPR seguiu a metodologia proposta em Aranha (2002), conforme figura 22. O equipamento de georadar utilizado foi do modelo RAMAC, produzido pela Mala-GeoScience e foram utilizadas antenas de frequência de 50, 100 e 200 MHz (ARANHA, 2002).

A aquisição de dados foi realizada em diferentes campanhas, sendo um levantamento inicial feito em 3 transectos: Agropop (Transecto 1), Fazenda do Sr. Pedro Neves Ferreira (Transecto 2) e Lagoa do Saputá (Transecto 3), indicados no tópico 4.2.3 e na Figuras 12 e 23, no mês de julho de 2016 e março de 2017. Nestes levantamentos foram utilizadas antenas de 50 e 100 MHz com espaçamentos variados, sendo de 10cm para o levantamento com antena de 100Mhz e de 15cm para a antena de 50Mhz. Também foram realizados perfis de CMP para obtenção da velocidade. A posição das antenas foi perpendicular à direção do transecto durante a aquisição dos dados (ARANHA, 2002). A Figura 22 mostra um momento da aquisição dos dados de GPR.

Figura 22 - Aquisição de dados de GPR no PRP.



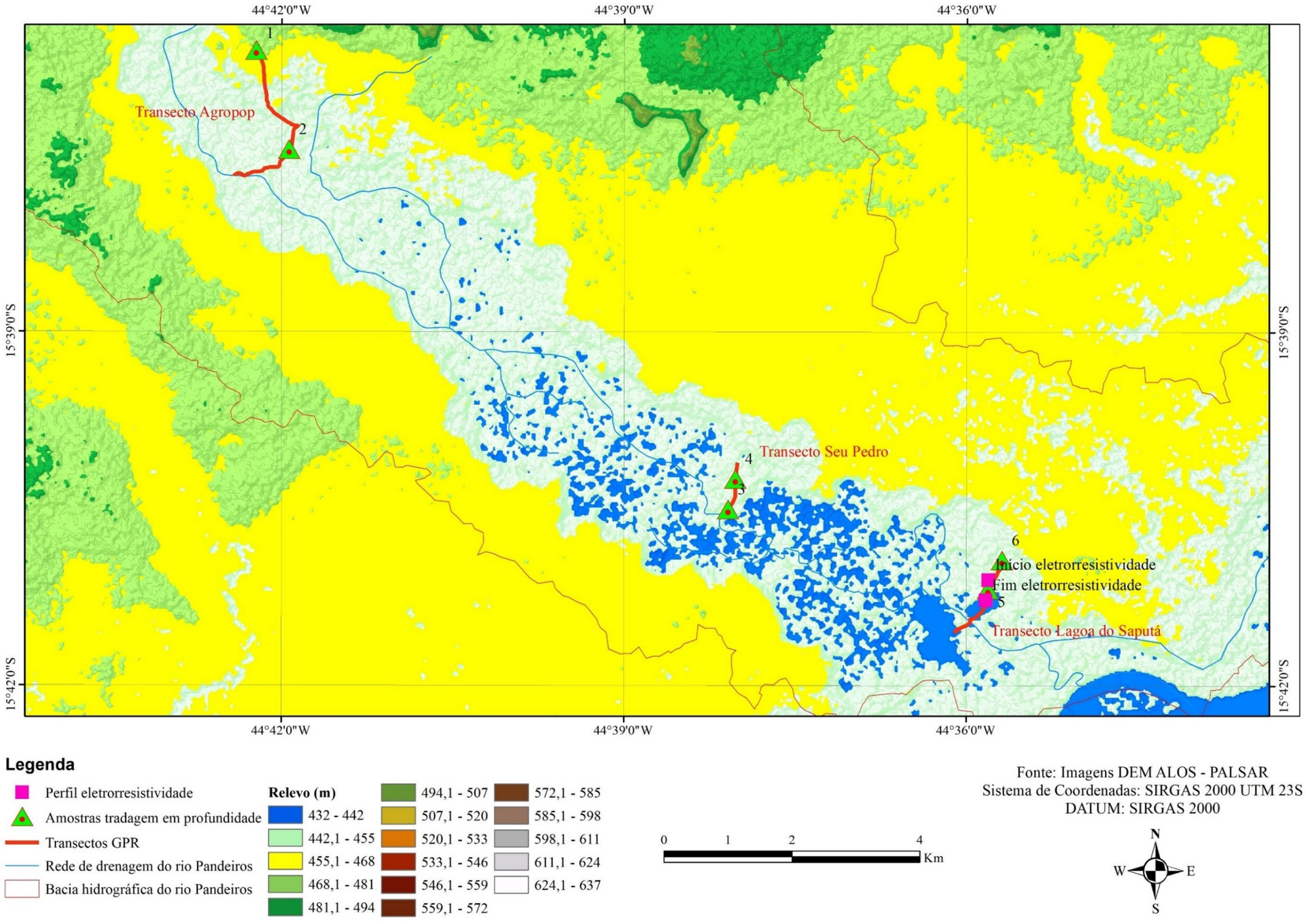
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2019.

Após esta primeira etapa de aquisição de dados, foi realizado uma nova campanha de aquisição de dados em maio de 2019, com o objetivo de geração de dados em 3D de um fragmento de área do transecto da AGROPOP (Transecto 1) e da Fazenda do Sr. Pedro Neves

Ferreira (Transecto 2) (Figuras 12 e 23), e um novo perfil 2D na Lagoa do Saputá, além da aquisição de dados utilizando a técnica de eletrorresistividade.

Os transectos 1 (representativo da subunidade P2) e 2 (representativo da subunidade P3) coletados em maio de 2019, foram realizados por meio de um curto caminhamento pelo terraço destas subunidades, de modo a promover um levantamento de maior detalhe, para aquisição dos dados e representação em 3D. Sua representação foi plotada em radargramas no capítulo de resultados. A aquisição dos dados foi realizada nas vertentes, partindo de um ponto elevado no sentido do ponto mais baixo, seguindo a linha de maior declividade. Na planície de inundação, como o relevo é muito plano, não houve necessidade de fazer a correção topográfica.

Figura 23 - Local da aquisição de dados de transectos de GPR e de eletrorresistividade no PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.3.10. Coleta de dados de eletrorresistividade

A aquisição de dados de caminhamento elétrico para aquisição geofísica em 2D ocorreu em maio de 2019, com o uso do resistivímetro ABEM *Terrameter* SAS 1000 na configuração dipolo-dipolo (NOGUEIRA *et al.*, 2013), com a disposição dos eletrodos espaçados de 5 em 5 metros, totalizando um segmento de 330 metros, utilizando 66 eletrodos pelo período de aproximadamente 90 minutos. Em cada eletrodo foi inserida uma quantidade de aproximadamente 250 ml de água e cloreto de sódio. O transecto, representativo da subunidade P4 do PRP, tendo sua localização indicada na figura 12 do tópico 4.2.3, e na figura 23 do tópico 4.3.9. Os eletrodos foram instalados da alta vertente em direção do fundo da lagoa do Saputá, que neste período, ainda estava coberta de água, com uma altura máxima de 50 cm (Figura 24).

Figura 24 - Posicionamento dos eletrodos no momento de aquisição de dados para eletrorresistividade, quando a Lagoa do Saputá ainda estava inundada, em maio de 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.3.11. Coleta de geocoberturas em profundidade

Juntamente com a aquisição dos dados de GPR, foi realizada também a coleta do regolito em profundidade em pontos cuja análise preliminar de dados dos radargramas (GPR), coletados em 2016 e 2017 de GPR, indicou a presença de locais em que as informações pudessem auxiliar e aprofundar a interpretação dos radargramas (tópico 4.2.3). Ao longo do perfil, aberto com um trado motorizado, foram coletadas amostras a cada 30 cm. A execução deste serviço envolveu 6 pessoas, sendo quatro operadores do trado e dois coletores de amostras (Figura 25). A medida das profundidades das amostras foi obtida com fita métrica a partir da diferença entre o comprimento total da haste incluindo a ponteira e a altura da haste que ficava acima da superfície (ARANHA, 2002).

Figura 25 - Operação do trado mecânico para coleta de geocobertura em profundidade.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O material amostrado foi acondicionado em saco plástico previamente identificados e etiquetados. Os furos foram realizados em maio de 2019 resultando em um total de 6 furos (Figuras 12 e 23) que atingiram a profundidade máxima de 7 metros; a partir de 5 metros a operação se tornou muito lenta, dificultando sobremaneira a continuidade da operação.

A tradagem foi encerrada quando os furos atingiram o nível freático, devido ao colapso das paredes, comum em material muito arenoso, no interior do tubo coletor. No Laboratório de

Geomorfologia, IGC-UFMG, as amostras foram caracterizadas em função de sua cor e textura ao toque, verificando também a presença grãos maiores do que areia.

4.3.12. Coleta de amostras para datação por ^{14}C

O objetivo do emprego desta técnica foi mensurar no Espectrômetro de Massa com Acelerador (AMS) a datação de amostras por meio do ^{14}C oriundas do PRP com vistas a datação da MO depositada em diferentes sequências sedimentares da planície de inundação.

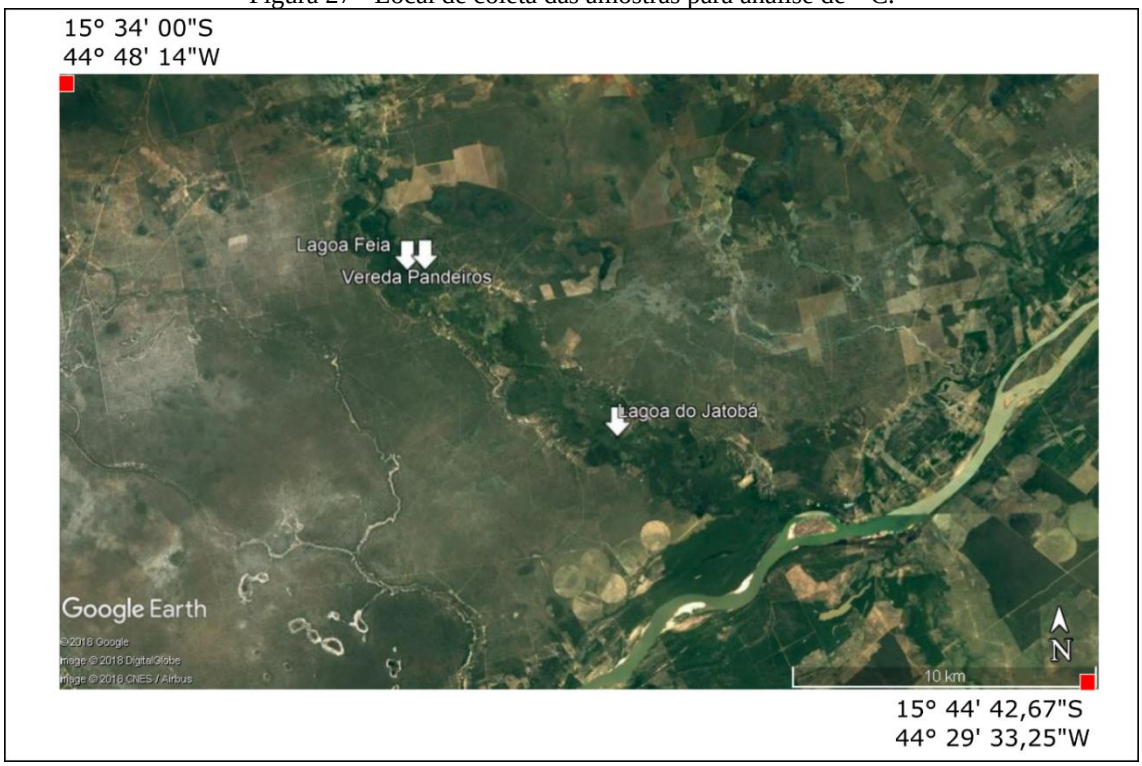
As técnicas foram fundamentadas em Cassino (2014), conforme figura 26. Sendo realizadas coletas com o testemunhador tipo *Russian Peat Borer* em 3 áreas, nas subunidades P2 e P3, como indicado no tópico 4.2.3 e na Figura 27. Para a escolha da área, foi introduzido previamente um cabo de madeira no sedimento para verificar a profundidade média possível a partir do esforço manual. Após, foi utilizado o testemunhador, introduzindo sempre 50 cm de profundidade em cada etapa de coleta, até atingir a profundidade máxima possível, conforme visualizado na Figura 26. Com o auxílio de outra pessoa utilizando luvas de plástico descartável, e colheres e facas de plástico também descartáveis o sedimento foi identificado no topo e na base, e transferido para um tubo de pvc, sendo envolto em um filme plástico pvc. O armazenamento ocorreu em caixa de isopor até a chegada ao laboratório, onde ficou em geladeira.

Figura 26 - Momento da retirada do testemunhador da Lagoa do Jatobá.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 27 - Local de coleta das amostras para análise de ^{14}C.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A amostragem visou representar áreas mais elevadas na planície de inundação, onde o canal de drenagem possua único curso, sendo inundada apenas nas grandes cheias. Neste caso foi realizada uma coleta no canal de uma vereda, a fim de buscar realizar um controle da dinâmica de deposição. Neste local, haveria uma sequência de menor perturbação dos materiais depositados (Figuras 12, 27 e 28).

Próximo a vereda, foi realizada a amostragem em uma lagoa temporária, na data da coleta praticamente seca, nas margens da Lagoa Feia, onde haveria uma dinâmica de retrabalhamento de materiais mais intensa do que na vereda. A outra área amostrada está localizada nas margens da Lagoa do Jatobá, que representa um antigo meandro do rio Pandeiros e atualmente é uma lagoa permanente (Figuras 12, 27 e 28).

Em cada perfil foram coletadas 3 amostras, uma próxima ao topo, outra no meio e outra na base para que se obtenha a datação adequada para cada testemunho. Apenas no perfil da Lagoa do Jatobá, que possui apenas 72 cm de profundidade é que foram analisados apenas o topo e a base. O quadro 08 apresenta dos dados das amostras que foram analisadas e a figura 28 apresenta fotografias e imagens de satélite em maior detalhe das áreas amostradas.

Quadro 08 - Dados das amostras analisadas com técnica do ^{14}C.

Local	**Profundidade**	**Coordenadas**		**Altitude (m)**
		LATITUDE	**LONGITUDE**	
Vereda Pandeiros	20-21cm	15° 37' 31"S	44° 41' 46,30"W	460
Vereda Pandeiros	74-75 cm	15° 37' 31"S	44° 41' 46,30"W	460
Vereda Pandeiros	147-148 cm	15° 37' 31"S	44° 41' 46,30"W	460
Lagoa Feia	20-21 cm	15° 37' 31,60"S	44° 42' 6,20"W	459
Lagoa Feia	74-75 cm	15° 37' 31,60"S	44° 42' 6,20"W	459
Lagoa Feia	146-147cm	15° 37' 31,60"S	44° 42' 6,20"W	459
Lagoa do Jatobá	24-25 cm	15° 40' 31,90"S	44° 38' 13,60"W	460
Lagoa do Jatobá	77-78 cm	15° 40' 31,90"S	44° 38' 13,60"W	460

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 28 - Imagens de satélite e fotografias das áreas de amostragem para ^{14}C.

Área de amostragem da Lagoa Feia



Área de amostragem da Vereda Pandeiros



Área de amostragem da Lagoa do Jatobá



Fonte das imagens de satélite: Google Earth. Data das imagens: Agosto de 2017.
Fonte fotografias: CASSINO, 2017

4.4. Etapa pós-campo

4.4.1 Análises laboratoriais

Nesta etapa foram realizadas uma grande diversidade de atividades, as quais visam, principalmente, o tratamento das amostras coletadas em campo a fim de que pudessem ser mensuradas pelos instrumentos adequados para a geração dos dados.

4.4.1.1. Preparação das amostras para mensuração da concentração $^{10}Be/^{9}Be$

Antes da mensuração das amostras de $^{10}Be/^{9}Be$ no AMS, foi necessário realizar a ultrapurificação das amostras, visando a obtenção apenas de grãos de quartzo das amostras das geocoberturas coletadas na primeira fase da preparação. Em uma segunda fase, o BeO foi quimicamente isolado, além de ter a adição de uma quantidade já conhecida de ^{9}Be, a fim de controlar a mensuração da concentração no AMS. Estas etapas de trabalho foram fundamentadas nos Manuais de Procedimentos do *Scottish Universities Environmental Research Center* volumes *Mineral Separation and Quartz Cleaning*, sendo que a primeira etapa foi realizada no Brasil, no Laboratório de Geomorfologia do IGC UFMG, e o *Terrrestrial in situ cosmogenic ^{10}Be and ^{26}Al Chemistry*, que define os procedimentos da segunda etapa, que foi realizado no *Cosmogenic Isotope Laboratory do Scottish Universities Environmental Research Center* (SUERC) na Escócia.

A 1ª fase da preparação das amostras começa com a secagem e peneiramento dos grãos coletados, separando a fração entre 250-500 µm em um recipiente. O material foi lavado em água corrente até a água sair clara do material. Ele foi seco em estufa, e em seguida, foi separada uma fração de 100 g. A próxima etapa consistiu em uma pré-limpeza das amostras em HCl/HNO_3, para remoção de carbonatos e metais.

Os 100 g de material foram transferidos para um béquer de vidro e foi adicionada a solução de 10% HCl/HNO_3 o suficiente para cobrir a amostra. Ainda na capela, o béquer foi transferido para uma placa de aquecimento, em temperatura baixa, estando coberto por um vidro-relógio por uma noite. Posteriormente o material foi enxaguado até sair água limpa, sendo o material que sobrou seco novamente em estufa.

A próxima etapa realizada no Brasil foi a lixiviação das amostras em ácido fluorídrico HF para remoção de feldspato, ^{10}Be meteórico e eventualmente alguns metais residuais. Foram utilizados frascos de polietileno (PE) com capacidade de 500 ml e tampa rosqueável, com o

processamento máximo 60 g de cada amostra por frasco. Foi também adicionado 450 ml de água ultrapurificada (MilliQ). Na capela, foram adicionados uma solução em 1%, composta de 10 ml de HF 40% e ainda 5 ml de HNO_3 concentrado. Os frascos foram, então, delicadamente agitados e, depois, tampados, para verificação de possível expansão, ou excesso de vácuo. Na capela, eles foram invertidos 3 a 4 vezes durante o banho de ultrassom que durou 72 horas.

Após estes 3 dias, o material foi limpo com água ultrapurificada por 3 vezes, tomando cuidado para não perder amostra, pois o HF dissolve parte dos cristais de quartzo. Depois da lavagem, foi repetido o processo de lixiviação em HF, repetindo mais uma vez o mesmo procedimento, contudo, agora adicionando uma solução de 2%, composta por HF e HNO_3. Neste caso, para 60 g de amostra, 20 ml de HF com 40% de concentração, e 10 ml de HNO_3 concentrado, diluídos em 450 ml de água ultrapurificada.

Após esta 2ª lavagem em HF, as amostras e os frascos foram enxaguados entre 6 e 8 vezes com água ultrapurificada, tomando muito cuidado para não perder as amostras, que nesta etapa já estão com grãos muito reduzidos em diâmetro. As amostras foram secas em estufa e após, armazenadas em sacos de *zip-lock*.

Os demais procedimentos foram realizados na Escócia, com a separação magnética no Laboratório de Separação Mineral da *School of Geographical and Earth Sciences* da Universidade de Glasgow. O separador magnético foi utilizado com um campo de força de 0,5 A em uma primeira vez, e após outra separação, com campo de força em 1 A. O material não magnético foi armazenado novamente em sacos de *zip-lock*.

As demais etapas de purificação das amostras não foram aplicadas: flotação de feldspatos e mica e dissolução de aluminossilicatos em ácido pirofosfórico. Isto, porque as amostras, em virtude das características litológicas da bacia e do fato de terem sido coletadas em sedimentos aluviais que estavam em transporte, ou seja, em ambiente em que o feldspato e a mica não permanecem muito tempo, são ricas em sílica. Assim, elas foram levadas diretamente para a fase de determinação das alíquotas minerais. Esta etapa é importante, pois são verificadas nas amostras, por meio de análise em ICP-OES, as quantidades de elementos químicos indesejáveis para a preparação química do BeO. Os elementos indesejáveis são: B, Fe, Mg, Ti, Al e Ca; especificamente para o alumínio, deve haver uma alíquota máxima entre 100 até 150 ppm na amostra, sendo esta é a principal verificação feita de pureza do quartzo presente na amostra.

Este procedimento e os seguintes foram realizados no *Cosmogenic Isotope Laboratory* do SUERC. Foram transferidas cerca de 0,3 a 0,6 g de amostra em um tubo de 15ml de *teflon*,

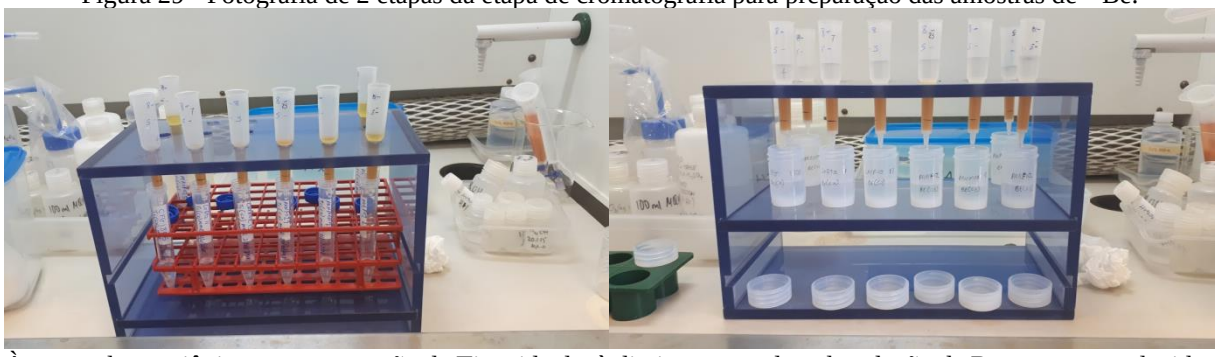
com as devidas massas registradas e cuidado com a carga estática das amostras em relação ao *teflon*. Após a pesagem, foram adicionadas 5 ml de HF mais de 5 a 10 gotas de 1:1 H_2SO_4. Na capela, as amostras ficaram sobre placas de aquecimento a temperatura baixa durante 8 horas, até a completa dissolução do quartzo e a evaporação do líquido. O material restante foi processado até ser coletado em um *eppendorf* de 1 a 5 ml, diluído em HNO^3. A solução foi centrifugada e, depois, levada para análise em ICP. Após esta verificação, as amostras ficaram prontas para seguir para as próximas etapas, que consistem na preparação química das amostras para serem levadas ao AMS.

O principal objetivo da 2ª etapa é extrair o Be a partir da amostra de quartzo purificado. Ela se inicia com a pesagem da amostra armazenada no *zip-lock*. Após a anotação das massas e dos frascos de *teflon*, é feita uma adição de cerca de 200 a 240µg de ^{9}Be. Esta adição de Be à amostra é necessária, pois este elemento é muito raro e é necessária uma quantidade conhecida do ^{9}Be para mensurar a concentração $^{10}Be/^{9}Be$.

Após esta etapa, as amostras foram completamente dissolvidas em HF. Foram adicionadas cerca de 100 ml de HF em um frasco de *teflon* sobre uma placa de aquecimento até chegar à temperatura de 100°C. Após sucessivas etapas de evaporação e redissolução da amostra, o HF é praticamente todo eliminado, juntamente com o fluoreto. Restando na solução: Fe, Ti, Al e Be na forma de cloreto, que foi processado pela cromatografia de troca aniônica. Ainda restou na amostra o TiO_2, precipitado e separado da amostra após centrifugação, antes da cromatografia.

A seguir foi feita a cromatografia, primeiro para separação dos ânions (Fe de Ti) a partir de uma resina em que a amostra é filtrada. Após, foi realizada nova cromatografia, desta vez catiônica, para separar o Ti residual, que fica retido em uma outra resina em que a amostra é filtrada. Por fim, é feito um procedimento para precipitação da amostra residual como hidróxido com a fração do Be, que depois foi seco e oxidado e finalmente acondicionado como óxido de Be no compartimento a ser analisado no AMS para mensuração da concentração (Figura 29).

Figura 29 - Fotografia de 2 etapas da etapa de cromatografia para preparação das amostras de ^{10}Be.



À esquerda a catiônica, para separação de Ti residual e à direita, para coleta da solução de Be para ser produzido o óxido de Be.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.4.1.2. Preparação das amostras para análise física e química da água superficial

Estas análises foram realizadas para buscar parâmetros geoquímicos que discriminassem as águas dos principais componentes hídricas da área: 1) rio Pandeiros; 2) rio São Francisco e 3) Pantanal do rio Pandeiros. Como não havia o conhecimento prévio sobre quais parâmetros analisar para encontrar esta assinatura geoquímica, foram realizadas as seguintes: análises de alcalinidade; sólidos totais dissolvidos (STD); sílica; pH; condutividade elétrica (CE) e turbidez das amostras, antes de sua filtragem em aparelhos de bancada, no Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG. Para as demais análises, as amostras foram filtradas em um conjunto para filtragem à vácuo e papel de filtro 0,45 µm.

Além destas, foram realizadas também análises no Espectrômetro de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado de Argônio (ICP – OES), da empresa Spectro, Modelo M4165, no Laboratório de Pesquisas Ambientais – NGqA, do Centro de Pesquisas Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC), IGC-UFMG.

A análise de alcalinidade pode revelar a presença de íons hidróxidos (OH-), de carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-). A determinação da alcalinidade total da água foi feita utilizando o titulador automático HANNA. A rotina foi iniciada com a calibração e configuração do titulador automático. Os reagentes utilizados foram o ácido clorídrico 0,1 N padronizado e água destilada. Após a calibração, foi coletada 50 ml da amostra, levada para leitura.

A análise dos sólidos totais dissolvidos na água, corresponde a todo resíduo que permanece após evaporação, secagem ou calcinação da amostra que foi submetida a uma determinada temperatura por algum tempo. Foram separados 100 ml com uma pipeta, os quais foram transferidos para uma cápsula de porcelana, já previamente pesada. Estas amostras foram

secas na estufa à 180°C por 24 horas. Após este procedimento, foram resfriadas em dessecador e pesadas novamente.

A análise de sílica dissolvida em água foi feita por meio do espectrofotômetro relativa ao molibdato de amônio em água. O procedimento consiste em pipetar 25 ml de amostra e adicionar sucessivamente 0,5 ml de HCl e 1 ml de reagente de molibdato de amônio, misturando, em seguida e deixando em repouso entre 5 e 10 minutos.

Em seguida, foi adicionado 1 ml de solução de ácido oxálico, agitado junto com a amostra e levado ao espectrofotômetro para leitura da coloração. Também é feita uma amostra em branco e os resultados são calculados a partir de uma curva de calibração previamente elaborada em diferentes concentrações.

4.4.1.3. Ensaios para obtenção dos dados de $\delta\,^{2}H$ e $\delta\,^{18}O$

A análise isotópica esta foi realizada no Laboratório de Espectrometria de Massas e Razão Isotópica do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN-BH) pela determinação de $\delta^{18}O$ e $\delta^{2}H$ utilizando o Espectrômetro de Massas de Razão Isotópica (IRMS), *Thermo Fisher Scientific, Delta Plus,* interfaceado com o processador de amostras GasBenchII, a fim de utilizar estes dados como traçadores isotópicos da dinâmica hídrica do Pantanal Mineiro durante o período de inundação.

4.4.1.4. Preparação das amostras para análise das geocoberturas superficiais

As análises das amostras de geocoberturas têm como objetivo a caracterização geoquímica dos sedimentos depositados em cada subunidade hidrogeomorfológica do Pantanal do rio Pandeiros, buscando a identificação de sequências ou descontinuidades longitudinais entre os transectos, e até mesmo laterais, dentro de um mesmo transecto. Também se procurou identificar, em profundidade, a existência de uma alteração de ambiente de deposição, o que pode contribuir com a análise da dinâmica hidrogeomorfológica e os processos de sedimentação que ocorreram ao longo do tempo.

Os seguintes parâmetros foram analisados: pH em H_2O; pH em KCl; CE; granulometria; CO; cátions trocáveis: Al^{3+}, Ca^{2+} e Mg^{2+}, K^{+} e Na^{+} e óxidos de Fe_2O_3, Al_2O_3 e TiO_2.

A análise laboratorial feita para as amostras das geocoberturas coletadas em cada perfil de cada um dos transectos estabelecidos para amostragem da área do Pantanal, foi realizada no

Laboratório de Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG. Os princípios teóricos e procedimentos utilizados para realizar as análises, foram retirados do Comunicado Técnico 66 da Embrapa do ano de 2012 e dos protocolos de análise do Laboratório de Geomorfologia, que seguem as diretrizes estabelecidas pela Embrapa. A utilização destes documentos se dá por serem uma referência para a análise de solos gerais no Brasil e pela inexistência de outro material tão abrangente e que pudesse padronizar os possíveis erros ou comportamentos diferentes nos diferentes tipos de geocoberturas encontrados também no Pantanal. Por exemplo, em várias amostras, foram encontrados um teor muito elevado de MO, valores extremos de pH (como 3 e 9) e de densidade, dentre outros fatores que são utilizados, em geral, para caracterizar as amostras como solos típicos do Brasil.

As amostras foram preparadas por meio da recepção e identificação no Laboratório seguido pela secagem ao ar livre e, para as amostras com muita umidade, pelo uso de estufa à 40°C pelo tempo necessário até sua secagem. Após este processo, as amostras foram peneiradas em malha de diâmetro de 2,0 mm, obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Foram realizadas as análises granulométricas, pH em água e pH em KCl. Para esta análise, foram pesados 10 g de solo e acrescentados 25 ml de água ultrapurificada e 25 ml de KCl, quando foi o caso, seguido de agitação, repouso por 1 hora e mais uma agitação antes da leitura. Nas amostras em que o valor do pH em água e em KCl foram muito elevados, foi realizado o teste para verificar a presença de carbonatos, utilizando a adição de ácido clorídrico a 10%, para verificar a efervescência. Nas amostras em que houve a reação positiva, o dispersante utilizado na análise granulométrica foi o hexametafosfato de sódio.

Também foi feita a análise da CE, a qual pode indicar a presença de sais solúveis. O procedimento utilizado foi a pesagem de 100 g de amostra, sendo acrescidas 100 ml de água ultrapurificada, seguida de agitação a cada 30 minutos, procedimento repetido por 5 vezes. Ao final da 5ª agitação, a amostra foi filtrada em um Filtro 42, faixa azul. A solução filtrada foi submetida a leitura no condutivímetro.

Em amostras cujo teor de MO era muito elevado, ou que continham argilas expansíveis, foi necessário adicionar mais volume de água ultrapurificada, que foi acrescida de 50 ml em 50 ml, até que houvesse solução sobrenadante sobre as amostras. Os valores acrescidos variaram entre 50 e 150 ml a mais de água ultrapurificada.

Foi feita também a análise da umidade residual da TFSA, para realizar o cálculo do fator de correção de umidade (fator F).

Para a análise granulométrica, que visa classificar e quantificar a distribuição das geocoberturas por meio do diâmetro das partículas utilizou-se as seguintes classes: areia grossa (2 mm – 0,21 mm); areia fina (0,21 mm – 0,05 mm), silte (0,05 mm – 0,002 mm) e argila (<0,002 mm), de acordo com Almeida *et al.* (2012). No laboratório, após a agitação e individualização das partículas por meio da agitação lenta e da dispersão química, foi feita a separação da fração areia por peneiramento e a separação das frações silte e argila, por meio da sedimentação das partículas em suspensão, após a retirada da areia. A quantificação das frações foi realizada por pesagem, incluindo as frações menores, utilizando o método da pipeta. O dispersante utilizado foi o padrão, ou seja, o hidróxido de sódio (NaOH). Nas amostras em que houve a presença de carbonatos, foi utilizado o dispersante hexametafosfato de sódio. O material foi acondicionado em garrafas plásticas para agitação.

Para a análise foram pesados 20 g de TFSA, e adicionadas em uma garrafa plástica com 100 ml de água ultrapurificada. Após, foram adicionados 25 ml do dispersante, conforme o caso, hidróxido de sódio ou o hexametafosfato de sódio. As amostras foram acondicionadas em agitador mecânico. Foi utilizado um agitador tipo Wagner, com rotação de 50 rpm por 16 horas. Após, foi realizada a separação da areia total, utilizando uma peneira de malha 0,053 mm. O material das garrafas foi lavado sobre a peneira com água deionizada até completar o volume de 1 L na proveta abaixo do sistema de peneiramento. A areia retida na peneira foi levada a estufa a 105°C por 24 horas. Após secagem e resfriamento em dessecador, as latas de alumínio em que a areia foi acondicionada foram pesadas. Em seguida, a massa de cada lata de alumínio foi transferida para uma peneira com malha de 0,212 mm, para fazer a separação da areia grossa da areia fina. A areia fina que passou pela peneira foi colocada novamente na lata de alumínio e novamente pesada.

As frações silte e argila foram determinadas pelo método da pipeta, incluindo a determinação da prova em branco. As amostras em cada proveta foram agitadas em agitador magnético. Após agitação completa da solução de silte + argila por 1 minuto, foram coletadas 25 ml a uma profundidade de 5 cm a partir da superfície, que foram transferidas para um recipiente, posteriormente levado a estufa em 105°C por 24 horas.

Em seguida, as provetas foram colocadas em repouso, e foi aguardado o tempo de sedimentação da fração silte, conforme a temperatura da solução e a densidade de cada amostra. Assim, foram pipetadas mais 25 ml da solução com argila, a qual foi transferida para um recipiente, o qual foi encaminhado também para estufa a 105°C por 24 horas. Após a secagem em estufa, os materiais foram esfriados em dessecador, pesados em balança e todos os dados

foram transpostos para planilha eletrônica do Laboratório de Geomorfologia para cálculo do ensaio.

Também foi realizado o ensaio para aferir o CO das amostras de cada perfil dos transectos. A partir da oxidação da MO com o uso do dicromato de potássio em meio sulfúrico, também conhecido como via úmida e titulação do dicromato de potássio restante, com uma solução de sulfato ferroso amoniacal (EMBRAPA, 1997). O procedimento consistiu na pesagem de 0,5 g de amostra, passadas em peneira de 60 mesh, seguidas da adição de 10 ml de dicromato de potássio. A solução foi aquecida até fervura branda, por 5 minutos, com condensador sobre a boca do erlenmeyer. Após resfriamento, foram acrescentadas 80 ml de água ultrapurificada, 2 ml de ácido ortofosfórico e 3 gotas de indicador difenilamina. Por fim a solução foi titulada com sulfato ferroso amoniacal 0,1 N até que a solução fique em cor verde (EMBRAPA, 1997).

Em algumas amostras, compostas basicamente de MO decomposta ou em decomposição, foi necessário realizar uma diluição no procedimento. Nestes casos, foi pesado 0,1 g de amostra e acrescentou-se 50 ml de dicromato. Nestes casos, o resultado foi multiplicado por 25, para compensar estas diluições, em aproximadamente 25 vezes (EMBRAPA, 1997). Foi calculada ainda uma estimativa da porcentagem de MO, multiplicando-se o valor medido do CO calculado por 1,724. Este cálculo foi feito estimando-se a participação média do carbono na MO, que é de 58% (EMBRAPA, 1997).

Foi realizada a análise dos cátions trocáveis: Al^{3+}, Ca^{2+} e Mg^{2+}, seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (2017). Utilizou-se a solução extratora de KCl 1 mol L^{-1}, a qual foi misturada a 10 cm^3 para cada amostra em erlenmeyer, os quais foram agitados por 5 minutos, deixados em repouso durante 1 noite. Em seguida foram separadas frações de 25 ml para cada análise: alumínio extraível, cálcio + magnésio e cálcio trocável.

O alumínio extraível foi determinado por titulação a partir da solução extratora, mais três gotas do indicador de azul de bromotimol, titulados com solução de NaOH 0,025 mol L^{-1} até o ponto de viragem. O cálcio + magnésio trocáveis também foram determinados por titulação de 25 ml da solução extratora mais 4 mL de coquetel tampão, mais 30 mg de ácido ascórbico e mais 3 gotas de indicador negro de eriocromo. Esta solução foi titulada com EDTA 0,0125 mol L^{-1} até o ponto de viragem. O cálcio trocável foi determinado a partir de 25 ml da solução extratora, mais 3 mL de KOH a 10% e 1 pitada de ácido ascórbico mais 1 pitada do indicador ácido calconcarbônico + sulfato de sódio. Estes foram titulados com solução de EDTA 0,0125 mol L^{-1} até o ponto de viragem.

Ainda foram analisados potássio e sódio trocáveis, segundo a mesma metodologia da EMBRAPA (2017), a partir da solução Mehlich-1, com determinação em espectrometria de chama. Foram separados 10 cm^3 de cada amostra, aos quais foram adicionados 100 mL da solução extratora, agitados durante 5 minutos em agitador circular horizontal, deixando esta solução em repouso por 1 noite. Em seguida foram extraídas 25 ml para cada elemento da ser analisado em erlenmeyer. Esta solução foi passada no fotômetro de chama sendo registrada a leitura para posterior cálculo dos valores.

Finalmente foram conduzidas as análises dos óxidos de Fe, Al e Ti, a partir do ataque sulfúrico, também padronizados pela EMBRAPA (2017). O ataque sulfúrico foi preparado a partir da separação de 1 g de cada amostra, sendo adicionados 20 mL de ácido sulfúrico diluído 1:1, sendo esta solução fervida por meia hora, com o uso de condensador de refluxo. Após resfriamento desta solução, foi adicionado 50 mL de água deionizada, sendo filtrada em balão de 250 mL. Posteriormente, foi lavado o resíduo com água até completar o volume do balão. Esta solução foi utilizada para determinação do Fe, Al e Ti.

A determinação do Fe foi realizada a partir de titulação com EDTA. Para isto foram pipetadas 20 mL do extrato sulfúrico, adicionados 2,5 mL de solução HNO_3 + HCl 1:4, sendo esta solução fervida por cerca de 3 minutos, até a completa destruição da MO, sendo este processo repetido, se necessário. Após, foi adicionado 25 mL a 30 mL de água e ajustado o pH desta solução para 1,5, com auxílio do potenciômetro e da solução de HCL 1:1 e NH_4OH concentrado, se necessário. Então foi adicionado 1 mL de solução de ácido sulfossalicílico 5% como indicador. A solução foi aquecida em chapa aquecedora até cerca de 60°C. Em seguida, foi titulada com solução de EDTA 0,01 mol L^{-1} até o ponto de viragem. O resultado desta solução é utilizado também para determinação do Al_2O_3. Neste método está incluído também o titânio. É necessário seu cálculo para após esta determinação, subtrair os valores e determinar o valor de Al_2O_3.

O alumínio foi determinado por titulação a partir da solução para determinação do Fe_2O_3, foi adicionado a esta solução 10 mL de CDTA, mais 10 mL de acetato de amônio pH 4,5. Após isso, aguardou-se 10 minutos e foram adicionados mais 50 mL de álcool etílico e 2 mL de ditizona. Foi feita a titulação do excesso de CDTA com sulfato de zinco 0,0156 mol L^{-1} até o ponto de viragem.

O titânio foi determinado por meio do extrato sulfúrico em espectrofotômetro. Foram pipetados 25 mL do extrato sulfúrico e adicionados 4 mL de ácido sulfúrico 1:1. Em seguida foram adicionadas gotas de permanganato de potássio até coloração violeta permanente, sendo

esta solução aquecida até 80°C a 90°C durante 5 minutos. Após, foram adicionadas gotas de ácido oxálico 10% até a solução perder a cor.

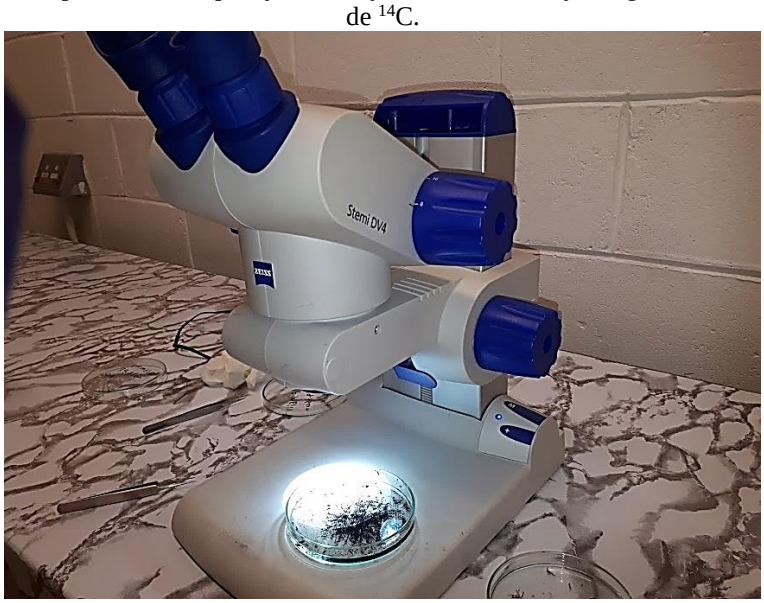
Esta solução foi esfriada, transferida para balão de 50 mL, adicionadas 2 mL de ácido fosfórico 1:1 e sete gotas de H_2O_2, sendo agitada a solução e após completado o volume do balão. Ainda foram adicionados 0,5 mL, 1 mL e 2 mL de solução padrão de TiO_2 (1g L^{-1}) em balão de 50 mL, adicionando cerca de 20 mL de água destilada mais 6 mL de H_2SO_4 1:1 mais 1 mL de H_3PO_4 50% e sete gotas de perhidrol, em seguida completado o volume. Após algumas horas, foi realizada a leitura da absorbância em espectrofotômetro, as leituras e os padrões foram registrados e os cálculos foram efetuados.

4.4.1.5. Preparação das amostras para datação do ^{14}C via AMS

As amostras de sedimentos coletadas em campo foram armazenadas em geladeira. Depois, o testemunho foi separado em intervalos de 2 cm, sendo neste momento, reservado o interior do testemunho nas profundidades indicadas no tópico 4.3.12, quadro 08, sendo armazenados em sacos plásticos *zip-lock* e enviados para a Universidade de Glasgow para preparação. A preparação inicial foi realizada no Laboratório de Separação mineral da *School of Geographical and Earth Sciences* da Universidade de Glasgow, sendo as amostras lavadas com água ultrapurificada em peneira de metal com malha de 150 µm. O material recolhido foi novamente lavado em peneira de malha de 90 µm. Todas as frações foram recolhidas em frascos de vidro, sendo armazenados em geladeira.

A fração entre 150 e 90 µm foi colocada em uma placa de petri e a partir daí, foi realizada a separação entre a fração mineral e a fração orgânica dos sedimentos, visando selecionar os macrofósseis e carvões, coletados com auxílio de pinça e microscópio. Após esta separação, foi feita a secagem das mesmas em estufa a 40°C até a completa evaporação do excesso de água nas amostras. A Figura 30 mostra o processo de *pick-up* das amostras com auxílio de microscópio.

Figura 30 - Fotografia do processo de separação da fração mineral da fração orgânica das amostras para datação de ^{14}C.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019.

Depois desse procedimento, as amostras foram enviadas para preparação do grafite no NERC *Radiocarbon Facility-East Killbride* no SUERC, onde as amostras foram digeridas em 2 M de HCl a 80°C durante 4 horas, sendo em seguida lavadas da fração mineral com água deionizada. Após foi realizada uma nova digestão das amostras em 0,5 M de KOH a 80°C durante 30 minutos. Este processo foi repetido usando água deionizada até a completa extração da fração humina. O resíduo foi lavado novamente até ficar livre de frações alcalinas, digerida em 1 M HCL a 80°C durante 2 horas, lavada novamente até ficar livre de ácidos. Após estas etapas ela foi seca e homogeneizada. A massa de carbono total aferida no pré-tratamento foi recuperada como CO_2 por meio de aquecimento com CuO em um tubo selado de quartzo. Em seguida, o gás foi convertido em grafite por meio da redução Fe/Zn, sendo enviado para o SUERC AMS *Laboratory*, para datação de ^{14}C.

4.4.2. Sumarização e interpretação dos dados

A análise da dinâmica do Pantanal do rio Pandeiros parte do entendimento de que esta área se trata de uma *wetland* e que o principal elemento responsável pela sua dinâmica seriam as configurações geomorfológicas da área de estudo. A partir desta compreensão é que se estabeleceram as metodologias para a pesquisa, que se apresentam em uma perspectiva multiescalar, pois envolvem um entendimento geral da dinâmica da bacia de drenagem do rio Pandeiros a montante do pantanal. Esta compreensão é importante porque grande parte da

configuração do meio físico poderá influenciar os processos que ocorrem no baixo curso do rio Pandeiros.

Outra escala de análise trata da própria caracterização das vertentes do baixo curso do rio Pandeiros, investigando as formas e os materiais mais característicos destas. Além das vertentes, o entendimento da dinâmica das inundações como o monitoramento do nível da água, bem como a sua caracterização ao longo do pantanal são importantes no sentido de verificar a dinâmica de influência da vazão do rio Pandeiros e do rio São Francisco no interior da *wetland*.

Por fim, foi analisada a influência que o rio São Francisco exerce na foz do rio Pandeiros em termos de flutuação do nível da água e da vazão em função do regime climático de transição entre o Cerrado e a Caatinga, e do regime hidrológico da bacia hidrográfica a montante são importantes para a análise da dinâmica da *wetland*.

Assim, os dados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram sumarizados no sentido de serem comparados entre si, buscando verificar se existem variações espaciais e temporais dentre as informações obtidas.

Na escala de análise do Pantanal, houve uma tentativa de verificar se, lateralmente, ao longo dos transectos amostrados e longitudinalmente, nas subunidades do pantanal, haveria homogeneidade ou heterogeneidade de feições e possíveis dinâmicas a partir dos seguintes aspectos:

- das formas de relevo, associadas aos processos que nele ocorriam;

- da cobertura vegetal, buscando analisar principalmente a distribuição dos estratos vegetacionais (árvores, arbustos, gramíneas);

- dinâmica hidrológica, superficial e subsuperficial;

- a cobertura sedimentológica lateralmente, verticalmente e longitudinalmente.

Foram delimitadas 4 subunidades na área do Pantanal, também já apresentadas e caracterizadas. Em cada uma destas subunidades, buscou-se aplicar todas as metodologias de análise adotadas. Sempre que possível, as coletas de amostras foram realizadas nas vertentes a partir das áreas drenadas e indo em direção até o canal principal atual do rio Pandeiros. Contudo, dificuldades de acesso, tais como vegetação muito densa, áreas inundadas ou pantanosas durante a estação chuvosa ou na maior parte do ano limitaram algumas técnicas e os planejamentos das áreas de coleta.

4.4.2.1. Cálculo da taxa média de desnudação por bacia hidrográfica via análise de ^{10}Be

A concentração de ^{10}Be/^{9}Be foi determinada usando um *Accelerator Mass Spectrometer* (AMS), que neste caso foi realizado no SUERC *facility*. Os dados brutos fornecidos pelo AMS, que estão apresentados no quadro 09, foram utilizados juntamente com outros parâmetros, como a latitude, a altitude, a densidade do material da geocobertura amostrada e a influência de bloqueios na superfície para a incidência de raios cósmicos (*shielding effect*). Estas variáveis influenciam a concentração deste isótopo na superfície, neste caso foi utilizada a metodologia proposta por Mudd *et al.* (2016), conhecida por método CAIRN. Assim foram compensadas estas influências para que seja feito o cálculo da taxa média de desnudação na escala temporal milenar por bacia hidrográfica (BALCO *et al.*, 2008).

Quadro 09 - Resultados da mensuração ^{10}Be/^{9}Be em AMS.

Sample ID	Quartz mass (g)	^{9}Be spike mass (µg)	uncert.	^{10}Be/^{9}Be	uncert.	^{10}Be atoms in sample	uncert.	Blank corrected ^{10}Be atom/g	uncert
GCFG1805	0,000	226,716	2,699	2,75E-15	5,73E-16	41662	8681	0	0
CoQtz 11	5,128	219,072	2,608	8,84E-13	9,65E-15	12899108	209200	2515427	40796
CATFOZ 13	22,860	217,896	2,594	5,15E-13	6,21E-15	7456891	127357	326198	5571
PANMON 7	23,654	218,484	2,601	1,05E-13	2,53E-15	1491295	42104	63046	1780
PANFOZ 9	19,935	217,644	2,591	1,09E-13	2,77E-15	1543575	45326	77430	2274
PINFOZ 11	19,612	219,66	2,615	5,64E-13	9,28E-15	8236827	168352	419989	8584

A amostra GCFC1805 é utilizada para controle internacional entre os laboratórios. A amostra CoQtz11 é a leitura padrão (branco) para análise. CATFOZ13 é a amostra coletada na foz do ribeirão Catolé. PANMON7 representa a amostra do alto curso do rio Pandeiros. PANFOZ9 é a amostra da foz do rio Pandeiros, situada na PCH. E PINFOZ11 é a amostra da foz do córrego Pindaibal.
Fonte: SUERC AMS *Laboratory*, 2018.

Os valores de desnudação por bacia foram obtidos a partir das concentrações de ^{10}Be/^{9}Be usando o site CRONUS-Earth versão 3.0, disponível em: https://hess.ess.washington.edu/ da *University of Washington*. Como as taxas de produção dos isótopos de ^{10}Be variam espacialmente conforme a altitude, latitude, *shielding* e a densidade da amostra, foram calculados previamente estes atributos conforme Mudd *et al.*, (2016).

Os valores de localização (latitude e longitude) foram obtidos quando da coleta das amostras, por meio de GPS de navegação Garmin Montana 680. Os valores de *shielding* foram obtidos a partir do DEM ALOS, com resolução espacial e altimétrica de 30 metros disponível em: https://www.eorc.jaxa.jp/en/. Esta base de dados foi processada no algoritmo TopoToolbox utilizando o *software* MATLAB, conforme metodologia proposta por Mudd *et al.*, (2016),

utilizando o valor de azimute (8) e zênite (5) para o incremento angular durante o cálculo do algoritmo no TopoToolBox.

O arquivo resultante do processamento foi utilizado no ArcGis para extração dos valores médios por bacia do efeito *shielding*, e para a extração da altitude média, via o mesmo algoritmo. Nos arquivos foi utilizado o algoritmo *zonal statistics as table*, para cálculo da média estatística por bacia. Os valores estão apresentados no quadro 12.

Os valores de densidade do material de geocobertura das amostras foram calculados de 2 formas: na 1ª forma, foi obtida a partir de uma média da contribuição areal (Quadro 10) de cada litologia por bacia, e a 2ª forma foi utilizado um único valor médio (2,5) para todos os materiais das bacias amostradas. Os valores por litologia (primeira forma) foram obtidos a partir do seguinte agrupamento: 1) Depósitos e coberturas, 2) Grupo Areado e Grupo Urucuia, 3) Grupo Bambuí e 4) Complexo Januária (Quadro 10). Os valores de densidade (ambas as formas) foram obtidos de Telford *et al.* (1990) e apresentados no quadro 11:

Quadro 10 - Distribuição areal por grupo de litologia para cálculo de porcentagem de cobertura litológica.

BACIA	GRUPO 1 (KM^2)	GRUPO 2 (KM^2)	GRUPO 3 (KM^2)	GRUPO 4 (KM^2)
Pindaibal	24,95	273,91	0	0
Catolé	102,56	572,27	0	20,7
Pandeiros Montante	320,08	121,93	0	0
Pandeiros Foz	760,37	2729,57	7,42	147,92

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Quadro 11 - Densidade média por grupo de litologia nas bacias hidrográficas amostradas.

BACIA	GRUPO 1 (%)	GRUPO 2 (%)	GRUPO 3 (%)	GRUPO 4 (%)	DENSIDADE MÉDIA POR GRUPO DE LITOLOGIA: g cm^{-3}
Pindaibal	8,3	91,7	0	0	2,32
Catolé	14,7	82,3	0	3	2,31
Pandeiros Montante	72,4	27,6	0	0	2,1
Pandeiros Foz	20,9	74,9	0,2	4,1	2,29

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Por fim, a tabela com os dados de entrada para cálculo da taxa de desnudação média para as bacias hidrográficas utilizadas (Quadro 12). Os resultados foram fornecidos pelo CRONUS-*Earth online calculators* com três opções de calibração dos resultados: St, Lm e LSDn. Basicamente, os resultados em St e Lm são calibrados pelas unidades de taxas de

produção de átomos/g/ano e podem ser interpretados como melhor referência para a análise da taxa de produção de nuclídeos cosmogênicos *in situ* ao nível do mar e em alta latitude. Já a calibração LSDn é feita por um fator adimensional, aplicado para as taxas de produção, calculadas diretamente pelo próprio método LSDn. Neste trabalho, optou-se por utilizar os valores calibrados por LSDn, devido a localização das amostras não estar próxima do nível do mar e nem em altas latitudes. Contudo, os valores obtidos para todas as calibrações estão nos Apêndices K e L.

Foi realizado o cálculo da taxa média de desnudação de algumas sub-bacias do rio Pandeiros: alto curso, ribeirão Catolé e córrego Pindaibal, e do baixo curso do rio Pandeiros, aqui estabelecido até a área a montante da PCH, para evitar possível contaminação com materiais de outras bacias, até mesmo do rio São Francisco. A amostra do baixo curso do rio Pandeiros pode ser considerada como uma média para toda a bacia.

Quadro 12 - Dados utilizados para cálculo da taxa média de desnudação por bacia hidrográfica.

Sample name	Latitude Decimal degrees	Longitude Decimal degrees	Elevation/ pressure Meters or hPa	Elevation/ pressure flag	Sample thickness	Sample density. g cm^{-3}	Shielding correction	^{10}Be concentration. Atoms g^{-1}	Uncertainty in ^{10}Be concentration. Atoms g^{-1}	Name of ^{10}Be standardization
CATFOZ13	-15.384660	-44.836254	706.387463	std	0	2.31	0.999209	326198	5571	NIST_27900
PANMON7	-15.184133	-45.123454	773.533583	std	0	2.1	0.998334	63046	1780	NIST_27900
PANFOZ 9	-15.498650	-44.757632	683.373101	std	0	2.29	0.99907	77430	2274	NIST_27900
PINFOZ11	-15.383833	-44.945392	629.386853	std	0	2.32	0.999652	419989	8584	NIST_27900

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

4.4.2.2. Interpretação e apresentação dos dados de sensoriamento remoto

As imagens de sensoriamento remoto, especialmente aquelas para observação e monitoramento da superfície foram utilizadas para complementar as informações adquiridas das estações fluviométricas, das geocoberturas e das amostras de água tanto para análise física e química, como daquelas para análise dos traçadores. Foram feitas composições falsa-cor que tinham por principal objetivo o realce das regiões com má drenagem, que adquirem uma tonalidade mais escura, devido a concentração de MO e a própria umidade (ROSA *et al.*, 2011; OLIVEIRA, 2013; MENGATTO JUNIOR e SILVA, 2014).

O processamento digital das imagens foi realizado no *software* IDRISI 17 – *The Selva Edition*, e as composições mais utilizadas foram: para as cenas do Landsat 5: R5G4B3; Landsat 8: R7G5B4 e Rapideye R5G4B1.

4.4.2.3. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados das estações fluviométricas

Os dados das estações fluviométricas, foram coletados, filtrados consistidos sendo ordenados e depois, tabulados no *software* Excel. A organização dos dados foi estabelecida em colunas para os dias, meses, anos e para o nível registrado em cada dia. O dia 29 de fevereiro foi excluído dos registros. Conforme a caracterização climática da área realizada no tópico 2.2, foi definido que o ano hidrológico com início em 1 de outubro (Apêndice A)

Os níveis de consistência disponíveis foram definidos em duas categorias: os consistidos e os não consistidos. A maior parte dos dados existentes e utilizados foram os consistidos. Os valores se referem às médias diárias, sendo que para os dados de vazão, foi utilizado o método de curva de descarga e para os dados de cotas por escala. Após esta ordenação cronológica, eles foram submetidos a análises estatísticas. Nas demais colunas foi classificado o ano hidrológico, e o dia do ano hidrológico, baseado em um calendário juliano de 365 dias para toda a sequência de dados. Também foi feito o cálculo do percentil de dias por ano (dia 1 do ano hidrológico 00% até o dia 365 do ano hidrológico 99%). A partir desta organização foram feitos os demais gráficos, todos no *software* Excel.

O gráfico da curva de duração do nível foi construído a partir do percentil de dias do ano hidrológico, retornando o valor diário médio de todos os dados da estação. O nível médio foi feito a partir do dia do ano hidrológico, retornando o valor médio dos dados por dia, respectivamente. O gráfico de nível diário foi feito a partir de todo o registro de dados, ordenado

pelos anos hidrológicos, bem como o gráfico de nível máximo, médio e mínimo por dia, calculado com base nestas métricas para cada dia do intervalo de dados disponível, respectivamente.

O gráfico de médias diárias para o ano hidrológico foi calculado com base nas métricas médias: máximo, mínimo e média para cada dia do ano hidrológico durante os anos analisados. Os demais gráficos partiram do filtro aplicado na interpretação de que, a partir de aproximadamente 500 cm de nível na estação 44200000, que está na cidade de São Francisco, a montante do Pantanal, a alteração temporária do nível de base do rio São Francisco, representada pela sua cota do nível da água, pode criar as condições físicas capazes de iniciar a inundação do Pantanal do rio Pandeiros, conforme verificado em trabalho de campo realizado no dia 14 de março de 2018. Foi então, calculado o número de dias por ano em que atendiam esta condição.

Além desse cálculo, também foi realizada uma observação detalhada dos dados acima de 500 cm; número de episódios de inundação por ano; duração dos pulsos de inundação (máximo, médio e mínimo) por ano; magnitude (máximo, médio e mínimo) por ano e, por fim, realizada uma classificação da intensidade dos eventos por ano, por meio da diferença entre o nível de magnitude máxima/ano e o nível mínimo para inundação (500 cm). Caso a diferença fosse de até 250 cm, a intensidade por ano seria classificada como baixa. Entre 250 cm até 490 cm, seria de intensidade média, e entre 490 cm até 730 cm seria de alta intensidade.

Foi ainda foi realizada uma análise de *Seasonal Trend Decomposition* (STL) no *software* R, que consiste em um algoritmo desenvolvido para dividir uma série temporal em 3 componentes: *trend, seasonality e remainder*. Esta metodologia foi apresentada por Cleveland *et al.*, (1990) e contribuiu para analisar o comportamento do nível e da vazão do rio Pandeiros, bem como suas perturbações sobre os dados disponíveis. As análises referentes à estação 44200000, localizada em São Francisco, compreenderam o período dos anos hidrológicos de 1925 até 2018.

A análise do comportamento ao longo do tempo do nível do rio São Francisco é fundamental para esta tese, pois representa a alteração temporária, ou efêmera do nível de base do Pantanal Mineiro. No entanto, como foi utilizada apenas uma estação fluviométrica, com uma série temporal muito extensa e localizada a montante da área de estudo, visando maior confiabilidade dos dados e sua correspondência com o histórico das medições, foram empregadas as mesmas análises para outra estação fluviométrica (44290002) próxima da área

de estudo, localizada na cidade de Pedras de Maria da Cruz, a jusante da foz do rio Pandeiros, distante cerca de 24km.

Contudo, a disponibilidade da série temporal para esta estação é menor, havendo dados a partir de 1974 até 2018. Apesar das diferenças entre as medições realizadas, como largura do canal, contribuição de 2 afluentes como o rio Pardo e o próprio rio Pandeiros, o comportamento do nível do rio nas 2 estações é similar. Os resultados estão apresentados no Apêndice M, onde foram realizadas as mesmas plotagens da estação 44200000, para fins de comparação: hidrograma do nível médio durante o ano hidrológico, percentil do nível médio, dados diários do nível para todo o intervalo disponível (1974 a 2018), nível mensal médio (máximo, médio e mínimo) para todos os anos hidrológicos, níveis médios (máximo, médio e mínimo) ao longo do ano hidrológico e a *seasonal-trend decomposition* (STL) para os dados desta estação.

4.4.2.4 Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de análise física e química da água superficial

Os valores foram tabulados no *software* Excel e apresentados em forma gráfica para comparação entre o período úmido e o seco.

4.4.2.5. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados via análise dos traçadores isotópicos $\delta^{2}H$ e $\delta^{18}O$

Os resultados foram tabulados no *software* Excel, e Past 3.x, que é um *software* gratuito para análise de dados científicos para manipulação, plotagem de dados estatísticos univariados e multivariados desenvolvido na *University of Oslo*. Foram feitas comparações espaciais entre os grupos por área de coleta: rio Pandeiros, PRP e rio São Francisco, e entre as amostras de fevereiro e março de 2018, coletadas em diferentes momentos de 2 pulsos de inundação diferentes. Estes valores também foram comparados com a Linha Meteórica Mundial e outros bancos de dados disponíveis na Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), próximos da bacia do rio São Francisco.

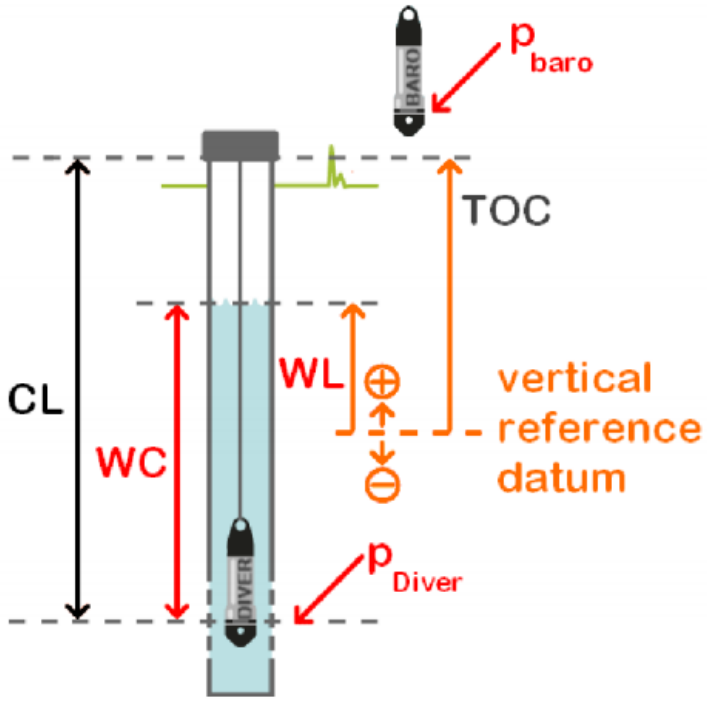
4.4.2.6. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de monitoramento do nível da água via piezômetros

Os dados medidos pelos piezômetros e pelo barômetro para serem utilizados neste trabalho, foram coletados em setembro de 2018. O período dos dados compreende o período

que se estendeu do dia 26 de julho de 2017 até 18 de setembro de 2018, abarcando, portanto, o final do ano hidrológico de 2017 e quase totalmente o ano hidrológico de 2018. Os dados foram coletados por meio de um leitor usb e compensados pelo valor do barômetro utilizando o *software Diver-Office* 2017 da *Van Essen Instruments*, que é a empresa que produz os piezômetros.

Assim, os valores de variação da pressão em cada piezômetro, compensados pelo valor do barômetro, indicam a variação vertical da coluna d'água em cm para cada piezômetro ao longo do tempo monitorado (SCHLUMBERGER WATER SERVICES, 2010). O cálculo do nível de água foi realizado conforme o esquema apresentado na Figura 31:

Figura 31 - Princípio de funcionamento do medidor de nível da água utilizado.



Onde,
CL = comprimento do cabo;
WC = coluna d'água;
WL = nível da água;
TOC = topo da caixa de monitoramento;
PBaro = pressão exercida no sensor do Diver Baro;
PDiver = pressão exercida no sensor do Diver submerso;
Vertical reference datum = altitude em relação ao nível do mar

Fonte: SCHLUMBERGER WATER SERVICES (2010)

A altura da coluna d´água situada acima do Diver submerso foi calculada pela equação:

WC = 9806,65 x (PDIVER – PBARO / p x g)

Onde

p = é a pressão expressa em cmH_2O;

g = aceleração da gravidade (9,81 m/s^2)

Já o cálculo do nível da água com relação ao *datum* de referência vertical é feito por:

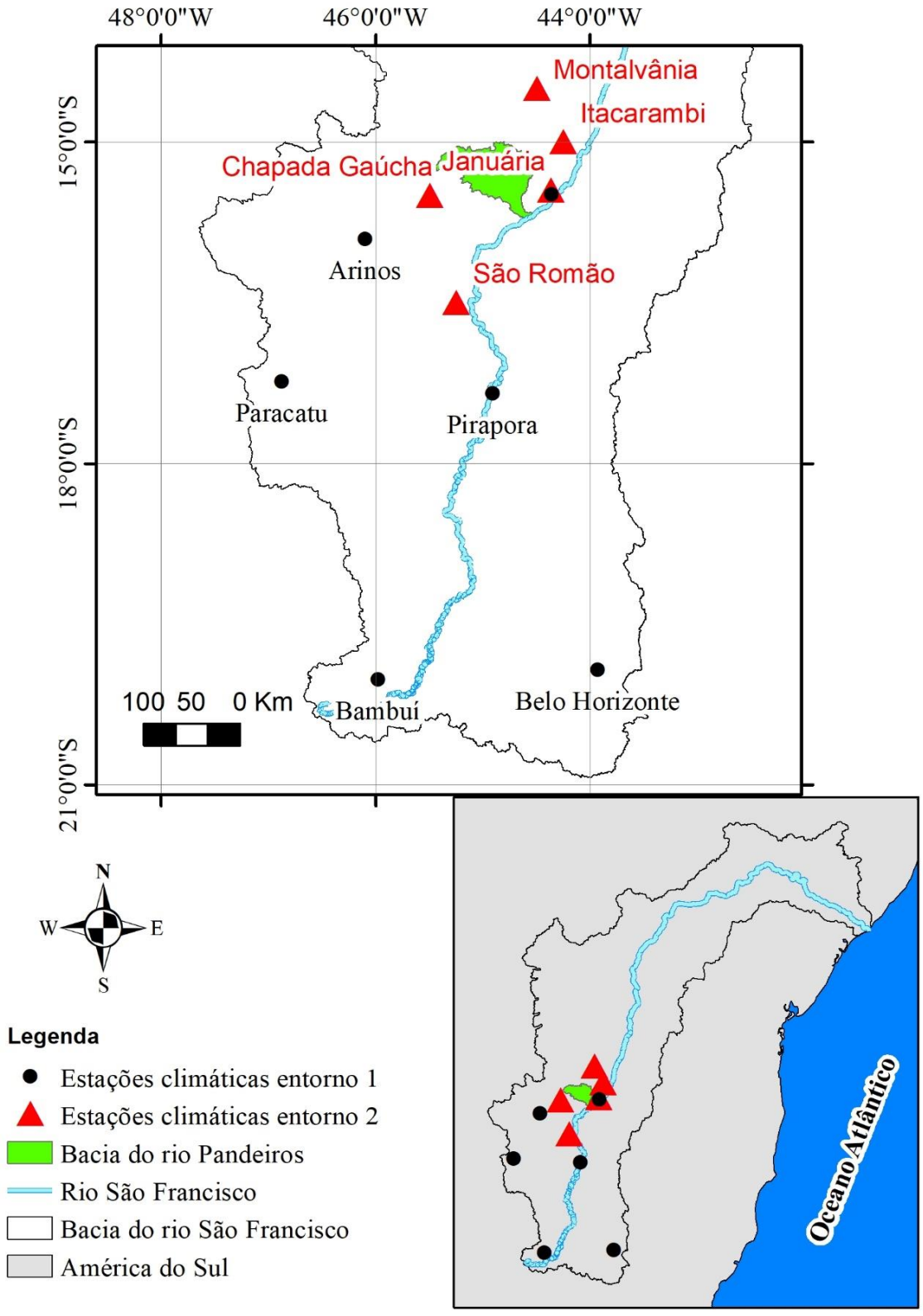
WL = TOC – CL + WC

Os valores de cada piezômetro foram compensados e calculados conforme a altura da coluna de água acima de cada piezômetro submerso. Estes valores foram plotados em gráfico, juntamente com os valores de temperatura, em intervalos diários, no *software* Excel.

Os piezômetros foram instalados com as seguintes configurações: O diver 1, tinha a distância entre o topo superior do tubo até o parafuso de apoio ao cabo que sustentava o piezômetro de 2,8 cm. Já a profundidade entre o parafuso e a linha do diver era de 269,3 cm, resultando em uma profundidade total de 272,1 cm. Já o diver 2, tinha a distância entre o topo superior do tubo até o parafuso de apoio ao cabo que sustentava o piezômetro de 2,8 cm. Já a profundidade entre o parafuso e a linha do diver era de 147,8 cm, resultando em uma profundidade total de 150,6 cm. O diver 3, por sua vez tinha a distância entre o topo superior do tubo até o parafuso de apoio ao cabo que sustentava o piezômetro de 2,5 cm. Já a profundidade entre o parafuso e a linha do diver era de 139,2 cm, resultando em uma profundidade total de 141,7 cm. O diver 4, tinha a distância entre o topo superior do tubo até o parafuso de apoio ao cabo que sustentava o piezômetro de 2,4 cm. Já a profundidade entre o parafuso e a linha do diver era de 266,5 cm, resultando em uma profundidade total de 268,9 cm. Por fim, o diver 5, tinha a distância entre o topo superior do tubo até o parafuso de apoio ao cabo que sustentava o piezômetro de 2,8 cm. Já a profundidade entre o parafuso e a linha do diver era de 210 cm, resultando em uma profundidade total de 212,8 cm.

Além destes dados, foram reunidos também dados sobre a precipitação que ocorreu no mesmo intervalo, oriundos de estações climatológicas selecionadas com base no critério de proximidade da área de estudo. Os dados foram obtidos no site da AGRITEMPO (https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp). Foi estabelecido o Entorno 1, que busca compreender os limites próximos da bacia do rio São Francisco, a montante do PRP, e o Entorno 2, que compreende o redor da bacia do rio Pandeiros (Figura 32 e Quadro 13), cujos dados são apresentados no tópico 5.1.1 que caracteriza o clima da região (Figura 36).

Figura 32 - Localização das estações climatológicas do entorno 1 e entorno 2, que foram utilizadas para complementar a análise dos piezômetros.



Fonte: AGRITEMPO, 2019.

O quadro 13 mostra os dados de localização e identificação das estações do entorno 1. Os dados das estações do entorno 2 estão no quadro 02.

Quadro 13 - Dados das estações climatológicas do entorno 1.

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (M)
Bambuí (OMM: 83582)	20° 1'11.88"S	45°58'41.92"O	661,27
Arinos (OMM: 83384)	15°54'36.00"S	46° 6'0.00"O	519
Belo Horizonte (OMM: 83587)	19°55'48.00"S	43°55'48.00"O	915
Januária (OMM: 83386)	15°29'33.97"S	44°21'46.51"O	473,71
Paracatu (OMM: 83479)	17°14'24.00"S	46°52'48.00"O	712
Pirapora (OMM: 83483)	17°21'0.00"S	44°54'36.00"O	505,24

Fonte: AGRITEMPO, 2019.

Os dados de precipitação das estações do Entorno 1 e 2 foram classificados, durante o mesmo período de monitoramento dos piezômetros, quando foi calculada uma média para os valores, das estações do entorno 1, e outra média para os valores das estações do entorno 2. Foram utilizados para comparação também os valores do nível do rio São Francisco na estação 44200000, na cidade de São Francisco, já apresentado nos tópicos 4.2.2 e 4.4.2.3 e os dados de vazão do rio Pandeiros, na estação fluviométrica a montante da PCH, também já apresentado nos tópicos 4.2.2 e 4.4.2.3. Estes dados foram plotados em gráficos confeccionados no *software* Excel.

Esta comparação entre os dados dos piezômetros, das estações climatológicas classificadas nos 2 Entornos, do nível do rio São Francisco e da vazão do rio Pandeiros, visa caracterizar a ocorrência dos pulsos de inundação e sua influência no nível da água longitudinalmente no PRP, nas subunidades P1, P2, P3 e P4.

4.4.2.7. Apresentação dos transectos, sítios geomorfológicos e perfis de geocoberturas

Os dados coletados em campo foram sumarizados e apresentados na forma de perfis topográficos para cada transecto, juntamente aos resultados das análises das geocoberturas no capítulo 5, sobre os resultados.

4.4.2.8. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados das geocoberturas superficiais

Os valores brutos, resultado das análises físicas e químicas realizadas para as geocoberturas estão apresentados nos Apêndices F, G, H, I e J. Como são muitas variáveis

analisadas e vários perfis e camadas, estes foram normalizados em log no *software* Excel, onde também foram produzidos gráficos de desvio segundo a profundidade de cada camada/horizonte amostrado, reunidos por perfil, separando as análises em: pH em H_2O, pH em KCl, CE, CO e MO em um gráfico; e os cátions trocáveis: Sódio (Na^+), Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Alumínio (Al^{3+}) e óxidos: Ferro (Fe^2O^3), Titânio (TiO_2) e Alumínio (Al^2O^3) em um segundo gráfico. Os resultados para granulometria foram apresentados segundo o teor de areia grossa (2 mm – 0,2 mm), areia fina (0,2 mm – 0,05 mm), silte (0,05 mm – 0,002 mm) e argila (< 0,002 mm), por profundidade, reunidos por perfil.

Além desta comparação, foram calculados os valores médios destes atributos por perfil, e realizada uma comparação entre os perfis de um mesmo transecto, e os valores médios de cada transecto, buscando analisar o comportamento e distribuição deles lateralmente e longitudinalmente, respectivamente, na *wetland*.

Os valores de textura foram classificados segundo a metodologia utilizada por Flemming (2000), com adaptações, que apresenta uma proposta de classificação dos sedimentos, segundo os teores de areia, silte e argila, para avaliar a energia do ambiente em que eles foram depositados. Baseado em um gráfico ternário, que neste trabalho foi realizado no *software* PAST, foram distribuídos os valores por perfil, sendo que a distribuição próxima da areia indica um ambiente com maior energia, e valores próximos dos eixos silte e ainda mais argila, indicam um ambiente de menor energia para sua deposição.

Foi confeccionado ainda no *software* Past o gráfico *matrix plot* que representa uma comparação, em valores normalizados, dos resultados comparados ao longo de cada transecto, para todas as análises: textura, granulometria, física e química. O *matrix plot* é um gráfico bidimensional da matriz dos dados, usando uma escala colorida para mostrar os valores, neste caso já normalizados em log, para indicar os valores mais baixos (azul) até os valores mais elevados (vermelho). É utilizado para obter uma visão geral dos dados da matriz.

4.4.2.9. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de GPR e eletrorresistividade

A frequência utilizada nas antenas foi escolhida em função da profundidade e da resolução (detalhamento) que se pretende alcançar, a depender do alvo desejado. A profundidade a ser alcançada depende das seguintes características: permeabilidade magnética relativa, condutividade e frequência angular.

A metodologia aplicada consistiu no uso de uma configuração de antenas paralelas e perpendiculares. A aquisição de dados se deu por afastamento comum e contínuo. Assim, o sistema GPR foi levado ao longo de um transecto pré-estabelecido, mantendo fixa as distâncias entre as antenas, a fim de obter-se um *continuum* perfil da energia refletida ao longo de cada posição ao longo do transecto.

Os transectos foram planejados buscando estarem perpendicularmente à direção dos processos que ocorreram sobre a vertente e a planície de inundação, embora este trajeto muitas vezes teve que ser interrompido ou desviado, devido à dificuldade de acesso provocada principalmente pela vegetação.

Após a aquisição de dados do GPR sobre os transectos, foi feita sua edição e processamento no *software* GRADIX. A interpretação e apresentação dos resultados foi feita na forma de radargramas ilustrados no *software* Inkscape e Corel Draw, para gerar modelos de subsuperfície. As técnicas de processamento das imagens obtidas visaram melhorar principalmente a qualidade visual dos dados obtidos, facilitando sua interpretação. Esta fase envolve técnicas de edição, processamento básico e processamento avançado de imagens digitais.

Após a correção das imagens, foi realizada a interpretação final, visando a construção de um modelo de subsuperfície das áreas em que foi aplicada a técnica por meio da complementação dos dados dos radargramas com dados dos furos em maior profundidade para conferir a real composição dos materiais, melhorando, assim, a qualidade da interpretação dos sinais.

Após a fase de aquisição dos dados de campo, a etapa de processamento dos dados seguiu a metodologia efetuada por Aranha (2002), definidos como passos rotineiros para o tratamento dos dados de radar:

- edição dos dados;

- *decliping*: retornar a deflexão dos dados à posição natural, sem corte;

- *dewow*: retirar as baixas frequências, em função de ruído eletrônico e outros presentes nos dados;

- *set time zero*: marcar o início da seção em tempo;

- ganho: é calculado em função do aumento da amplitude com a profundidade para compensar o seu decaimento com a profundidade. É definido em nanossegundos (ns);

- filtragem: visa retirar as frequências fora da faixa de frequência da antena;

- análise de velocidade: aplicado a partir da *Common mid point* (CMP) para definir o modelo de velocidade da área. A partir deste tipo de correção, é possível corrigir a topografia e converter em profundidade a seção obtida;

- correção topográfica: visa vincular as variações topográficas aos dados e perfis obtidos no georadar;

- correção de profundidade: converte a seção em tempo (ns) para profundidades (m) a partir do levantamento do perfil de velocidade CMP.

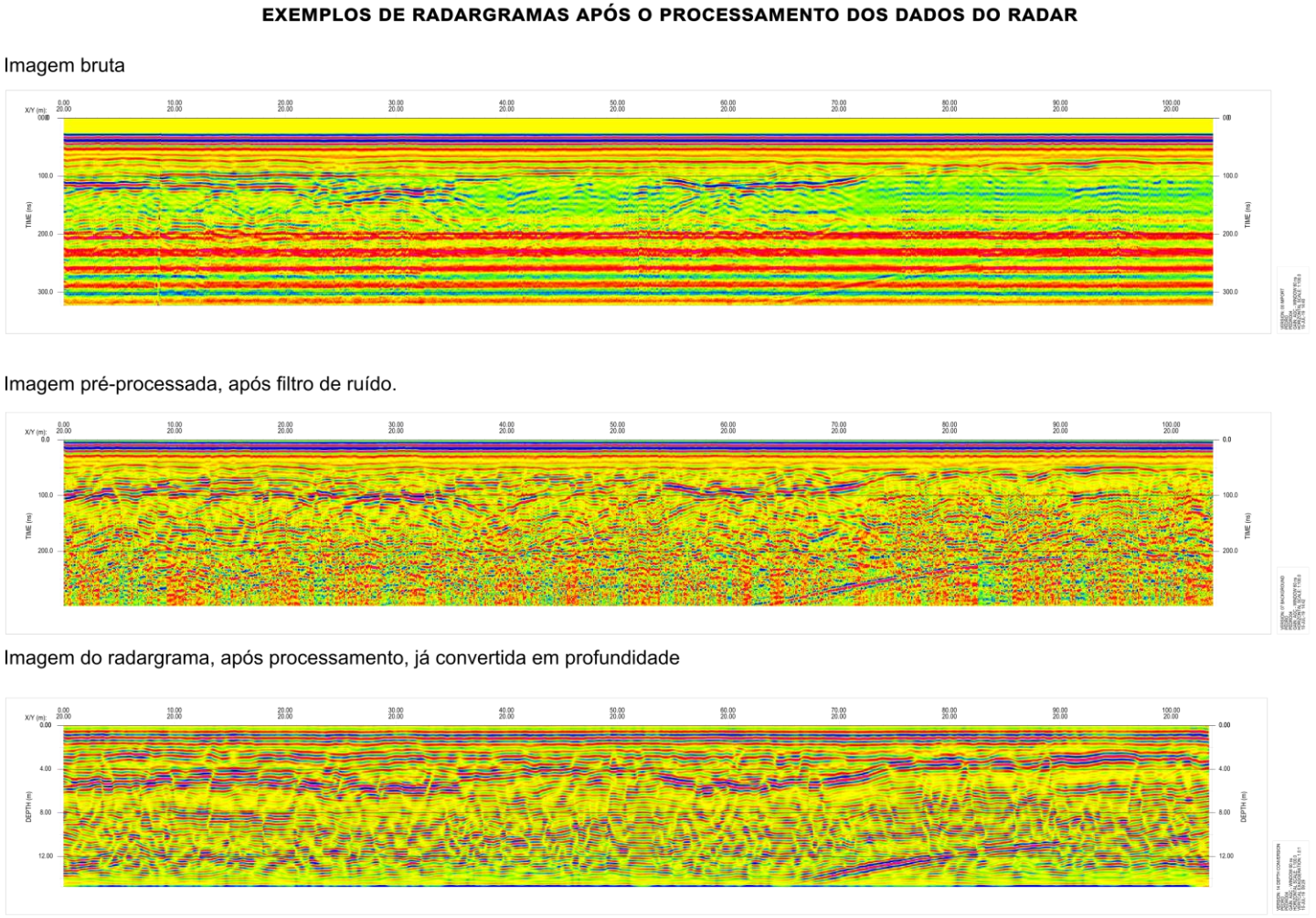
Após o processamento dos dados de GPR e sua apresentação em radargramas, foi iniciada a etapa da interpretação dos radargramas. A figura 33 ilustra os resultados de melhoria que os dados podem fornecer desde as imagens brutas do radargrama até aquelas geradas após as principais fases de processamento. Deste modo, como os transectos adquiridos eram muito compridos foram selecionadas algumas seções, que apresentavam maior contraste entre as camadas subsuperficiais, e não tiveram um sinal muito deteriorado.

A interpretação dos perfis obtidos foi no sentido de investigar a estrutura da subsuperfície, como a geometria, contatos, existência de linhas de materiais. O uso de antenas com diferentes frequências permitiu a obtenção de imagens com diferentes escalas em profundidade, e assim, com diferentes graus de detalhe (ARANHA, 2002).

A interpretação dos radargramas busca diferenciar formas e continuidades laterais nas imagens. Hipérboles e retas também indicam a presença de materiais com diferentes propriedades em subsuperfície. A textura da imagem também pode ser utilizada para diferenciar os materiais. Juntamente com os dados obtidos com os furos das tradagens motorizadas realizados na área, foi possível identificar as formas e suas correlações com as geocoberturas dos transectos. A partir da interpretação dos radargramas e das tradagens realizadas, construiu-se modelos geomorfológicos das vertentes analisadas (ARANHA, 2002).

Além do uso do GPR foi também feita a interpretação de 1 perfil de eletrorresistividade, representativo da subunidade P4, que está apresentada nos resultados.

Figura 33 - Exemplo de fases do processamento das imagens de radargrama.



Fonte: ARANHA, 2019.

4.4.2.10. Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de geocoberturas em profundidade

As amostras foram analisadas segundo as propriedades de cor segundo o Munssell Color Chart e as principais características morfológicas, como textura ao toque das mãos (buscando caracterizar principalmente se as amostras eram arenosas ou argilosas) e se havia a presença de cascalhos e/ou calhaus. Os resultados foram tabulados no *software* Excel e depois representados em perfis esquematizados no *software* Inkscape, sendo inseridos e apresentados juntamente aos radargramas de GPR nos resultados.

4.4.2.11 Tratamento, interpretação e apresentação dos dados de datação de sedimentos via ^{14}C

Os resultados da datação no SUERC AMS *Laboratory for ^{14}C analysis* são reportados em anos radiocarbono antes do presente (considerando 0 B.P. o ano de 1950). Também foram analisados o $\delta^{13}C_{VPDB}‰$ para as amostras, que foi mensurado no espectrômetro de massa isotópico (*Thermo Fisher Delta V*) e representa o material pré-tratado.

Também foi calculada a distribuição granulométrica representativa das camadas datadas no Laboratório de Geomorfologia da Universidade Federal de São João Del Rei, utilizando a técnica de granulometria a laser empregando o instrumento CAMSIZER XT, (Figura 34).

Figura 34 - Analisador de partículas para ensaio de granulometria a laser.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização Geral da Área da Bacia do Rio Pandeiros

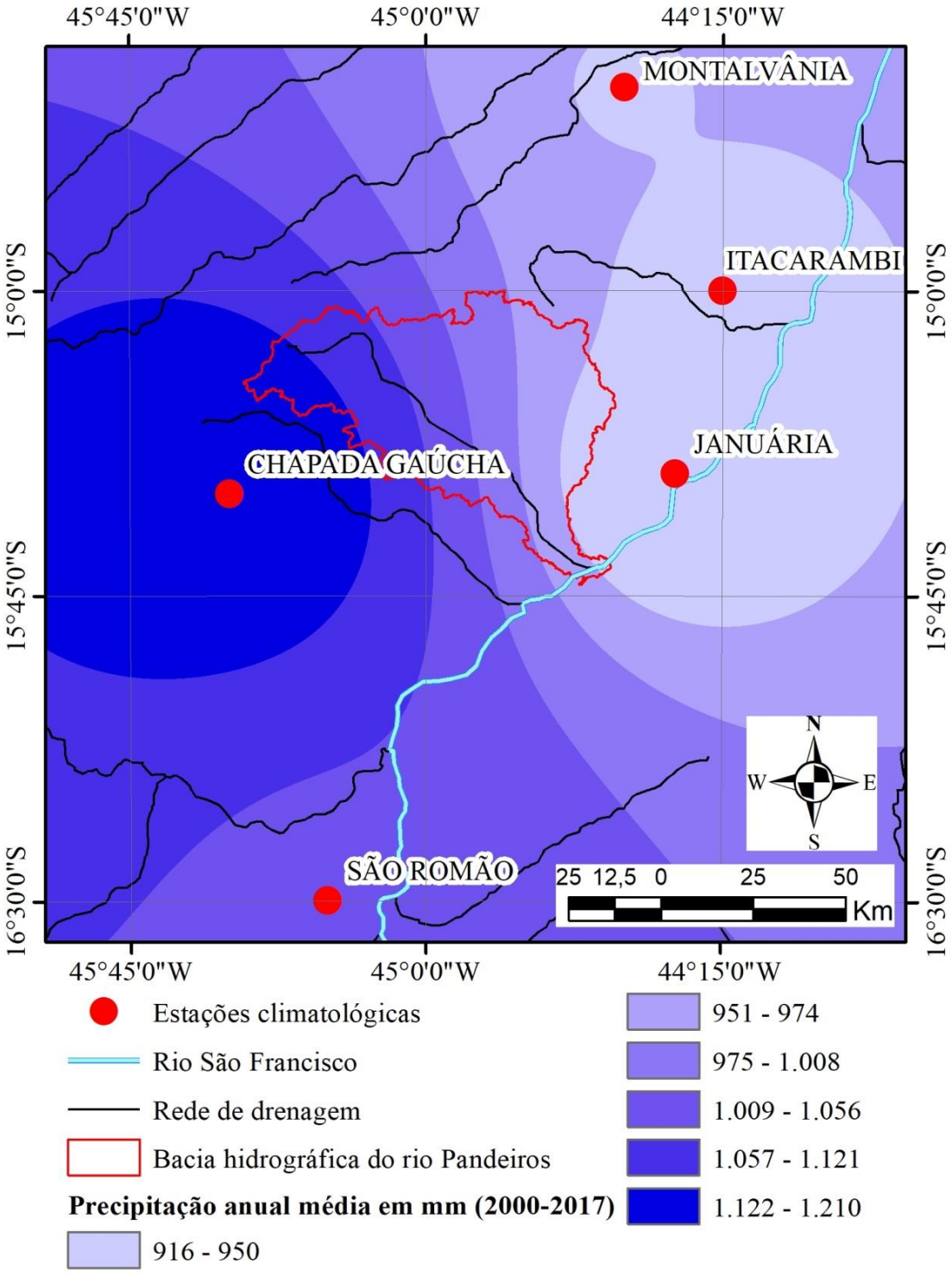
5.1.1 Dados complementares do clima da área de estudo

Buscando compreender melhor os efeitos do clima sobre a *wetland* do rio Pandeiros e levando em consideração, o entorno da bacia, em termos de dados de precipitação e temperatura, foi realizada análise complementar das variáveis climáticas com dados coletados nas 5 estações com um *record* mais prolongado de dados climáticos da área (Figura 35). Os dados foram lançados em planilhas, e partir delas, foram calculadas médias simples, apresentadas nos gráficos da figura 36.

Percebe-se, pela espacialização dos dados na figura 35 a possível existência de duas grandes áreas com diferentes quantidades de umidade anual. Uma, em direção a sudoeste, mais úmida, concentrada próxima à estação de Chapada Gaúcha, onde também estão as nascentes dos afluentes do rio Pandeiros. A outra região está a leste-nordeste, caracterizada pelas estações climatológicas de Januária, Itacarambi e Montalvânia, indicando uma redução da quantidade de umidade anual, podendo indicar uma transição entre os diferentes ambientes: tropical sub úmido e semiárido. A margem esquerda e a área da foz do rio Pandeiros estão mais próximas desta área de menor umidade média anual.

Os dados de precipitação (Figura 36), mostram que entre as estações há diferentes comportamentos, nem sempre homogêneos. A estação de Chapada Gaúcha tende a registrar uma quantidade de chuva maior ao longo do ano que as demais. Já a estação de Januária tende a registrar uma quantidade de chuvas ligeiramente menor. No período de maio a setembro, a chuva em toda a região é muito escassa. O período chuvoso começa em outubro, com chuvas homogêneas em torno de 50 mm em toda a região. Nos meses de novembro e março, a precipitação também é generalizada, em torno de 100 mm a 200 mm.

Figura 35 - Mapa de localização das estações climatológicas utilizadas para análise da temperatura e precipitação do entorno da bacia do rio Pandeiros e interpolação dos valores médios de precipitação anual das estações analisadas.



Fonte: EMBRAPA. Sistema de Monitoramento Agrometorológico - AGRITEMPO, 2017 Estações: TRMM.3085/Agritempo; TRMM.2747/Agritempo; TRMM.3429/Agritempo; TRMM.3260/Agritempo; Januária/INMET

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

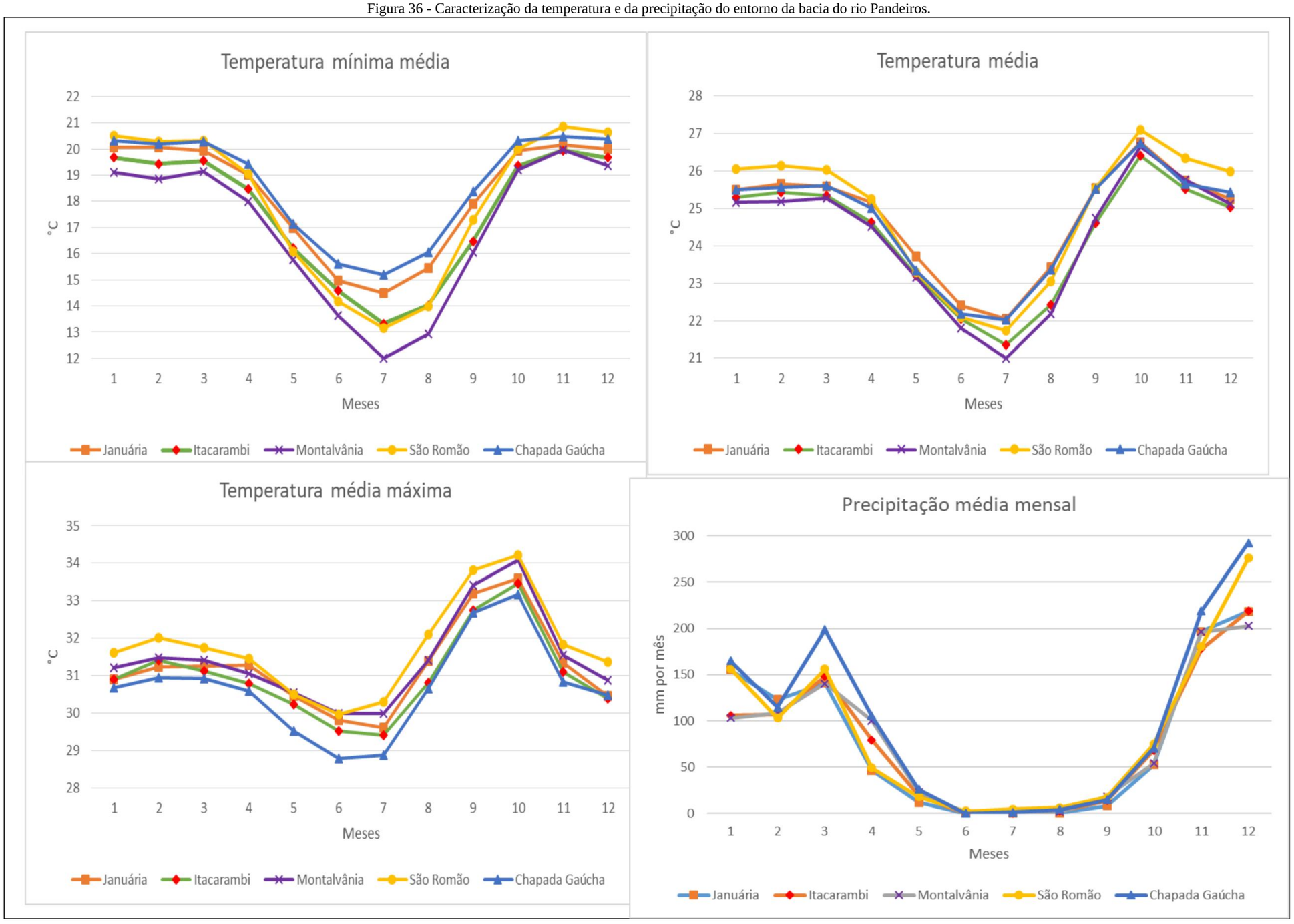
O mês mais chuvoso em toda a região é dezembro, mas com grande diferença entre os totais, que podem variar entre 200 mm em Montalvânia, até 300 mm na Chapada Gaúcha. Em fevereiro, observa-se uma redução da precipitação, mas março registra o segundo maior volume de chuvas. A partir de abril os volumes são muito irregulares e reduzem, encerrando na região a estação úmida que começa em outubro.

As temperaturas máximas médias têm um comportamento mais homogêneo na região como pode ser visto na figura 36, com diferença de aproximadamente 1°C entre as estações analisadas. Em toda a área, os meses mais quentes são setembro e outubro, com temperaturas entre 33°C a 34°C. Os meses com temperatura máxima mais baixa são junho e julho, com temperatura máxima em torno ou abaixo de 30°C.

Ainda na figura 36, no gráfico das temperaturas médias, é possível ver que a variação entre as estações chega a cerca de 1°C, sendo a estação de Montalvânia mais fria e as estações de São Romão e Januária, as mais quentes. De abril até cerca da metade de agosto, as temperaturas médias ficam abaixo de 25°C. O mês mais quente, na média, é outubro, com temperaturas acima de 26°C. Assim, as temperaturas parecem ser mais amenas no norte e mais quentes ao sul do entorno da bacia do rio Pandeiros. Esta espacialização apresenta uma correlação com as altitudes onde estão as estações, que estão acima de 600 metros ao norte e abaixo de 550m ao sul, margeando o canal do rio São Francisco.

A figura 36 mostra os dados de precipitação, que há diferentes comportamentos entre as estações. A estação de Chapada Gaúcha tende a registrar uma quantidade de chuva maior ao longo do ano do que as demais. Já a estação de Januária tende a registrar uma quantidade de chuvas ligeiramente menor. No período de maio a setembro, a chuva em toda a região é muito escassa. O período chuvoso começa em outubro, com pluviosidade em torno de 50 mm, homogeneamente distribuídas em toda a região. Nos meses de novembro e março a precipitação, variando de 100 mm a 200 mm, ocorre também de maneira generalizada O mês mais chuvoso em toda a região é dezembro, mas com grande diferença entre os totais, que podem variar entre 200 mm em Montalvânia até 300 mm em Chapada Gaúcha. Em fevereiro, há uma redução da precipitação, mas março registra o segundo maior volume de chuvas. A partir de abril os volumes são muito irregulares e reduzem, encerrando na região a estação úmida que começou em outubro.

Figura 36 - Caracterização da temperatura e da precipitação do entorno da bacia do rio Pandeiros.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

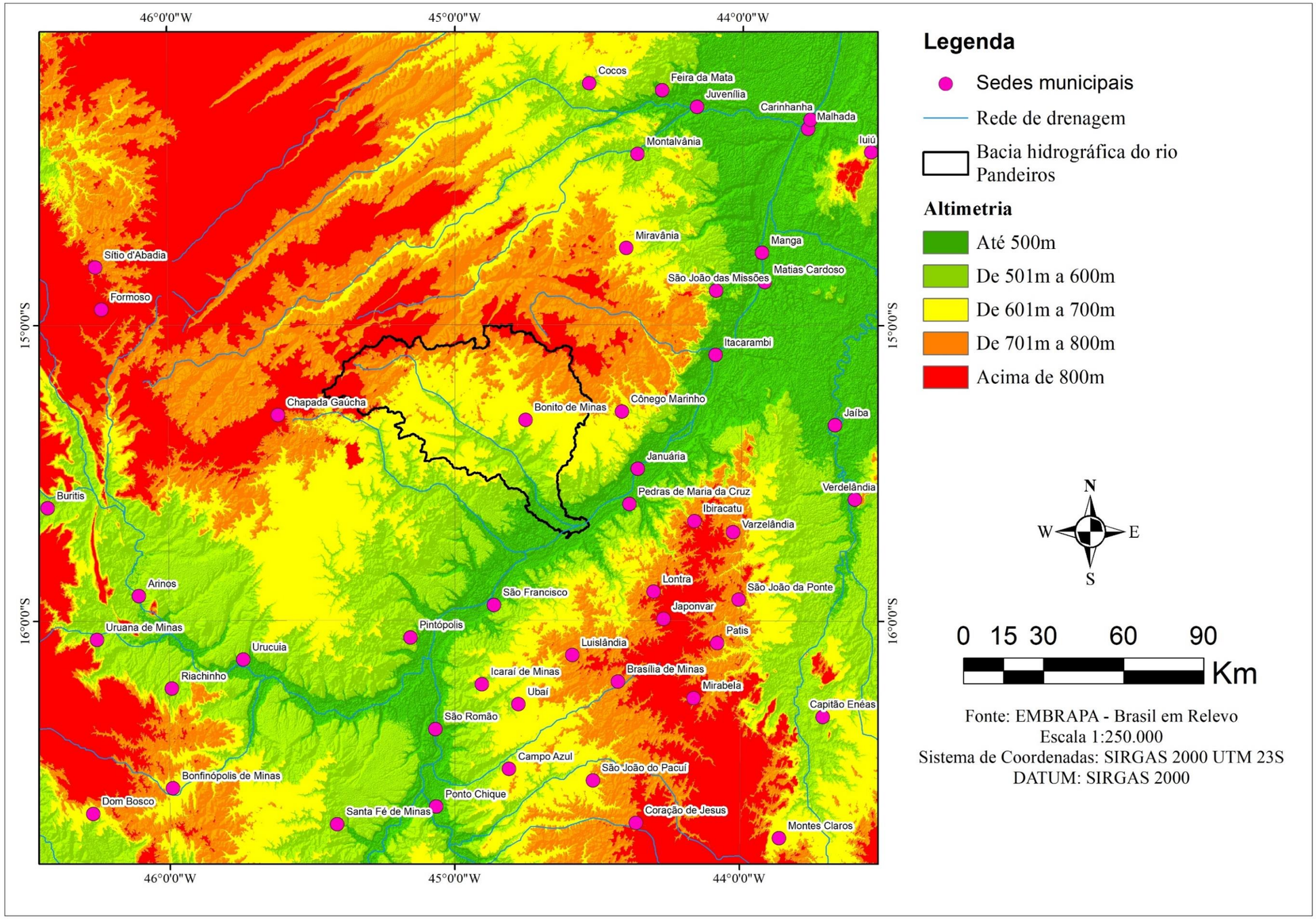
5.1.2 Dados complementares do relevo da área de estudo

Como observado na figura 37 as altitudes, na região, variam entre 450 m a pouco mais de 800 metros de altitude. A estrutura do relevo é formada por uma depressão ligeiramente estreita até a cidade de Januária para depois formar um vale muito largo, margeando o atual curso do rio São Francisco a nordeste do mapa abaixo de 500 m de altitude.

Ao sul e a noroeste, o relevo é bem-marcado pela estrutura residual das superfícies acima de 800 m de altitude, presentes nas duas margens do rio São Francisco, uma na margem direita, em direção sul-norte, nos municípios de Coração de Jesus até Mirabela. Na margem esquerda do rio São Francisco, os rios Urucuia e Cariranha dividem outras estruturas residuais muito similares, acima de 800 m de altitude, como ao sul do mapa, próximo de Dom Bosco e Uruana de Minas e na margem esquerda do rio Urucuia, formando uma espécie de arco leste-oeste, a Chapada Gaúcha que se estende desde próximo de Buritis, até Cônego Marinho, direcionando todos os canais de drenagem para o sul, em direção ao canal do rio São Francisco, seguindo a orientação noroeste-sudeste. Ao norte da Chapada Gaúcha, a Serra Geral de Goiás reorienta todos os canais de drenagem no sentido sudoeste-nordeste.

Entre as superfícies residuais e o vale do rio São Francisco, o relevo se estrutura em patamares, entre pouco menos de 500 m até 700 metros, sendo mais longos na margem esquerda, do que na margem direita do rio São Francisco, onde os patamares são mais estreitos, e abruptos. Esta característica faz com que a foz dos afluentes do rio São Francisco nesta região à sua esquerda possua uma grande área de planície situada entre 500 e 600 metros, que se configura na planície de inundação da foz dos afluentes como o Urucuia, Pardo, Pandeiros e Cariranha.

Figura 37 - Mapa hipsométrico da região do entorno da bacia do rio Pandeiros.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5. 2 Aspectos Gerais da Dinâmica Hidrogeomorfológica da Bacia do Rio Pandeiros

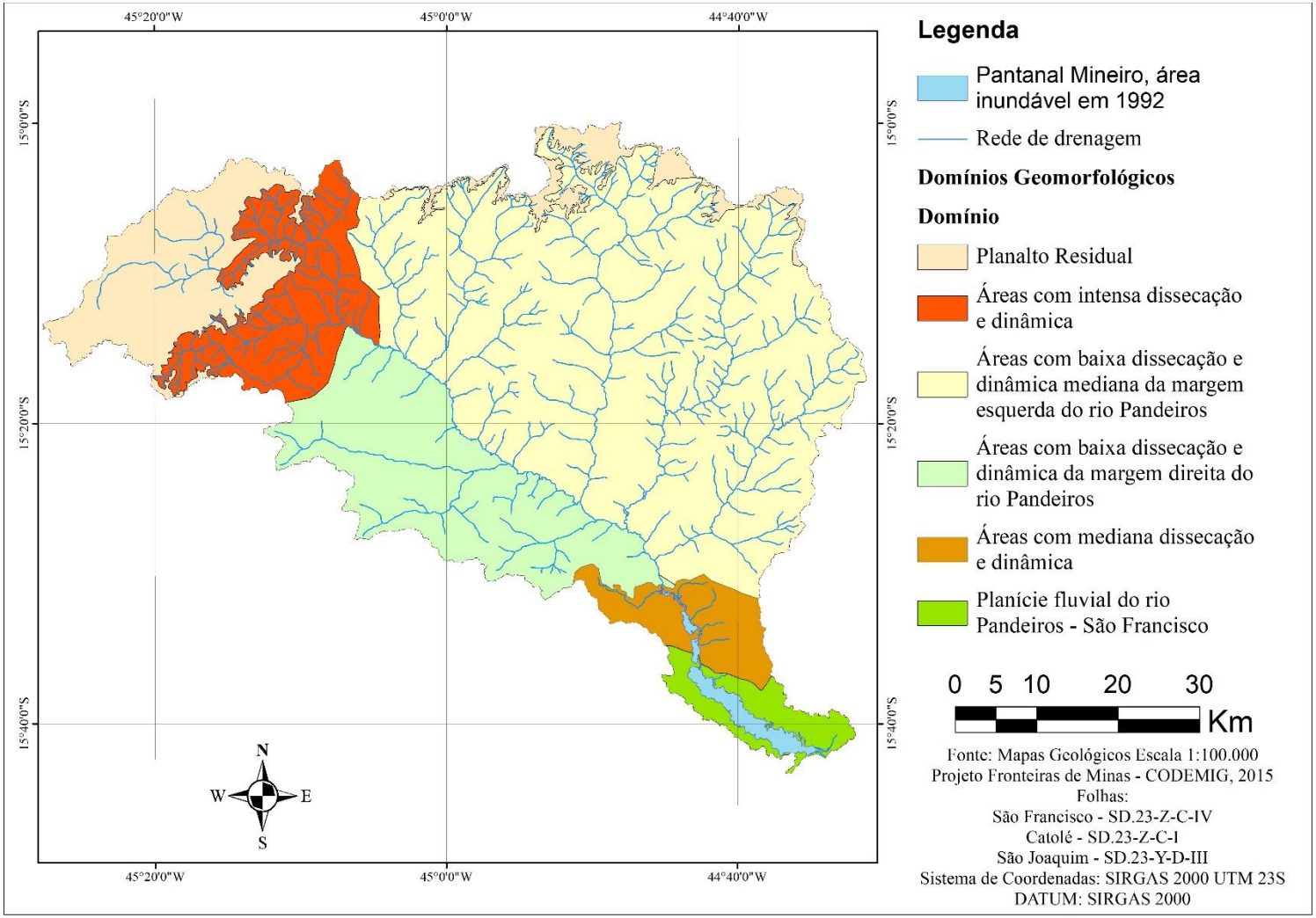
5.2.1. Domínios geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros

A Geomorfologia contribui para práticas de uso sustentável dos recursos naturais ao dar compreensão às formas de relevo e seus processos geradores, tanto no passado como no presente, permitindo espacializar sua distribuição geográfica (AUGUSTIN, 1979; CASSETI, 1994). O estudo da compartimentação morfológica constitui, portanto, um primeiro nível de análise (AB' SÁBER, 1969) espacial que contribui para o entendimento da dinâmica natural, fundamental para planejamento territorial.

O mapeamento geomorfológico realizado na bacia do rio Pandeiros (Figura 38) permite analisar a distribuição de unidades homogêneas em termos de características morfológicas e da dinâmica de energia potencial, com influência direta nos processos de erosão e transporte de matéria desde as zonas de cabeceiras dos afluentes até o Pantanal. Neste sentido, o mapeamento geomorfológico é um instrumento que espacializa as formas de relevo, podendo indicar também os materiais e eventualmente os processos que ocorrem na superfície, dependendo do objetivo e da escala em que é realizado (SAMPAIO e AUGUSTIN, 2014).

Foram identificados 6 domínios na bacia do rio Pandeiros, os quais possuem diferentes características (Quadro 14). O PRP encontra-se predominantemente localizado na Unidade 6 (OLIVEIRA *et al*., 2017), aqui denominada como Planície fluvial do rio Pandeiros-São Francisco, que é a unidade com menor energia potencial na bacia. No entanto, devido a sua localização no baixo curso da bacia, ela é susceptível a maior parte da dinâmica superficial e subsuperficial das demais unidades, incluindo o aporte de sedimentos e a vazão do rio Pandeiros.

Figura 38 - Mapa dos domínios geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

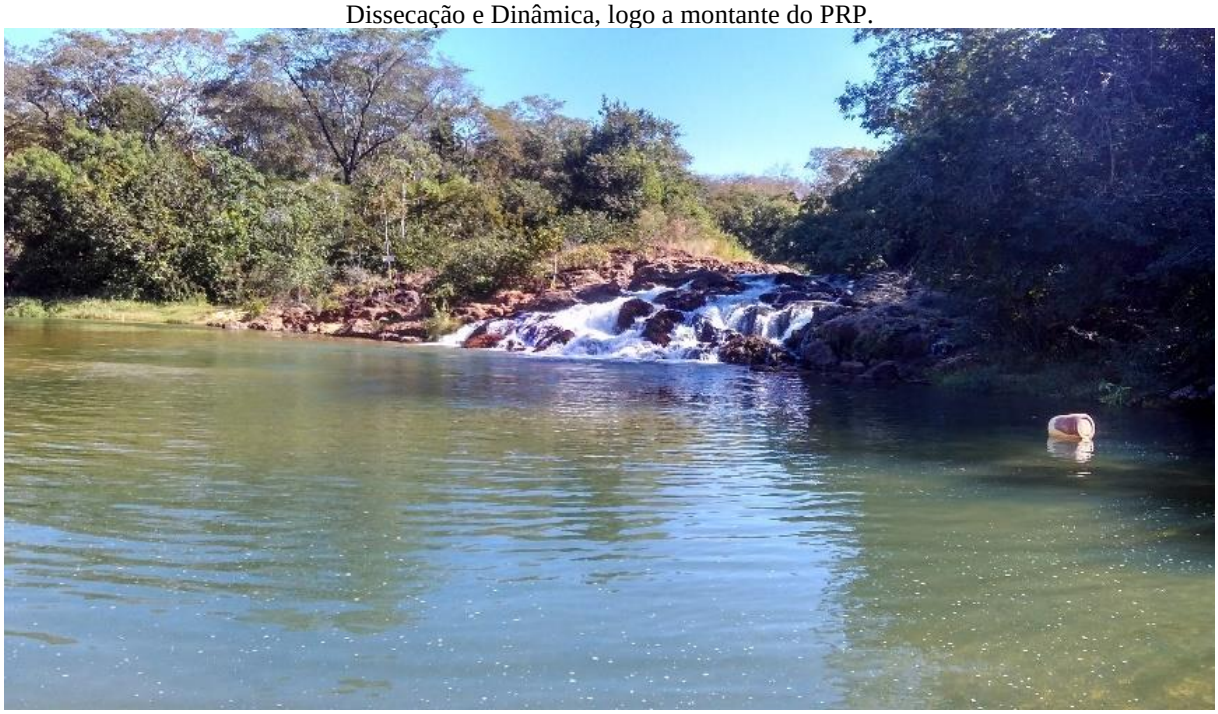
Quadro 14 - Síntese dos domínios geomorfológicos da bacia do rio Pandeiros.

NOME DA UNIDADE	LITOLOGIA	VERTENTES	ENERGIA
Planalto residual	Coberturas detrito-lateríticas	Planas, com baixa inclinação e sem orientação predominante	Baixa incisão da rede de drenagem, exceto nas bordas da chapada.
Áreas com intensa dissecação e dinâmica	Arenitos do Grupo Urucuia e Depósitos aluvionares recentes	Íngremes, com vertentes curtas em direção NO/SE	Ambiente de maior energia na bacia, com grande densidade de drenagem.
Áreas com baixa dissecação e dinâmica mediana da margem esquerda do rio Pandeiros	Arenito Urucuia, intrusões do Complexo Januária e Depósitos aluvionares recentes nos fundos de vale.	Suavemente inclinadas amplas e com direção preferencial L/O. Interflúvio e rede de drenagem na direção N/S.	Níveis diferentes de energia, nos locais onde há formas residuais maior e nas vertentes dissecadas, menor. Rede de drenagem distribuída na área de forma dendrítica.
Áreas com baixa dissecação e dinâmica da margem direita do rio Pandeiros	Arenito Urucuia, Depósitos aluvionares recentes e calcários do Grupo Bambuí	Muito amplas, baixíssima declividade com direção N/S e drenagem O/L.	Níveis baixos de incisão da rede de drenagem, com baixa densidade de drenagem.
Áreas com mediana dissecação e dinâmica	Arenito Urucuia, Complexo Januária e Coberturas detrito lateríticas associadas com os calcários do Grupo Bambuí	Mais curtas, com declividade mais íngreme, sem predominância de direção.	Baixa densidade de drenagem, mas com valores de declividade altos em alguns pontos, dispostos perpendicularmente ao rio Pandeiros, formando uma espécie de barreira na bacia, separando a área do PRP ao montante da bacia.
Planície fluvial do rio Pandeiros – São Francisco	Coberturas detrito-lateríticas com Depósitos aluvionares recentes e antigos e calcários do Grupo Bambuí.	Planas, sem predominância de orientação e baixíssima declividade.	Baixa energia.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

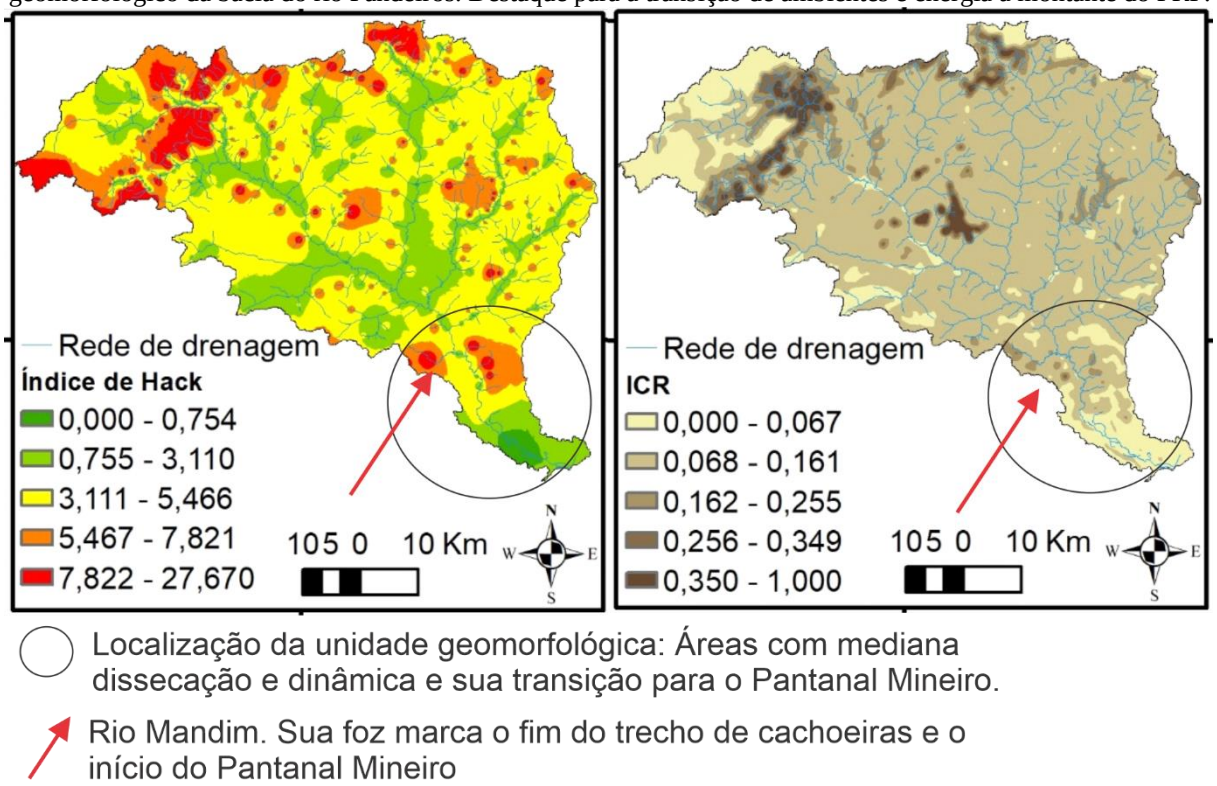
Há uma tendência geral de redução da energia potencial, da unidade Áreas com intensa dissecação e dinâmica, localizada na após a borda da chapada para a unidade Planície fluvial do rio Pandeiros-São Francisco, sendo que as unidades que incluem as áreas das margens direita e esquerda formam um tipo de transição entre as duas. Contudo, na unidade Áreas com mediana dissecação e dinâmica há um aumento significativo da energia potencial, incluindo a presença de uma sequência de cachoeiras no canal do rio Pandeiros (Figura 39). Este aumento significativo pode ser percebido na área destacada na figura 40, onde os valores do Índice de Hack aumentam para acima de 5,4, sendo o entorno abaixo deste valor, e o ICR também indicando uma elevação espacial da declividade da área acima de 0,1, tendo o entorno abaixo deste valor. Após estas cachoeiras, encontra-se o rio Mandim, um curso d'água temporário, cuja foz no rio Pandeiros marca o início do ambiente da *wetland*, em sua subunidade P1. As vertentes localizadas nesta unidade geomorfológica, (Áreas com mediana dissecação e dinâmica), apresentam uma rugosidade maior da superfície, o que é um dado importante já que nela, tem início a área da *wetland* do PRP, localizada no fundo do vale, cujas encostas apresentam uma inclinação mais forte (Figura 40).

Figura 39 - Uma das cachoeiras do rio Pandeiros localizada na unidade geomorfológica Áreas com Mediana Dissecação e Dinâmica, logo a montante do PRP.



O nome do rio Pandeiros é originado a partir do som da água que ao passar pelas rochas nestas cachoeiras, produz um som identificado como o som emitido pelo instrumento musical pandeiro.
Fonte: LIMA, 2017.

Figura 40 - Mapas Índice de Hack e Índice de Concentração de Rugosidade utilizados no mapeamento geomorfológico da bacia do rio Pandeiros. Destaque para a transição de ambientes e energia a montante do PRP.



Fonte: OLIVEIRA *et al.*, 2017.

A unidade geomorfológica Planície fluvial do rio Pandeiros-São Francisco, onde se localiza a maior área do PRP, possui como litologia as coberturas detrito-lateríticas, os depósitos aluvionares recentes e antigos além dos calcários da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015c). As vertentes são muito planas, sem orientação geográfica bem definida e com pouquíssima declividade. O ambiente de energia é considerado baixo, ideal para a dinâmica de inundações periódicas na foz do rio Pandeiros com o rio São Francisco.

5.2.2. Análise da dinâmica desnudacional na bacia do rio Pandeiros com o uso do nuclídeo cosmogênico ^{10}Be

Após analisar as variações de relevo na bacia hidrográfica do rio Pandeiros na escala espacial, foi realizada uma análise também temporal, com o uso do nuclídeo cosmogênico *in situ* ^{10}Be. Este possui uma meia vida de 1,4 milhão de anos (Ma) armazenado nos grãos de quartzo da superfície e subsuperfície, que contribui para a compreensão de como se deu a evolução da paisagem na bacia. Os valores encontrados (Quadro 15) estão sendo apresentados, considerando valores de densidade das rochas padronizados em 2,5 g/cm^{-3}, com base na

densidade *standart* para este tipo de litologia (TELFORD *et al*., 1990) e com taxas individuais para cada amostra.

Quadro 15 - Resultados da taxa média de desnudação por bacia hidrográfica utilizando o nuclídeo cosmogênico *in situ* ^{10}Be.

AMOSTRA	VALORES DE DENSIDADE DA GEOCOBERTURA VARIADOS COMFORME QUADRO 11				VALORES DE DENSIDADE DA GEOCOBERTURA 2,5 g/cm^{-3}			
	Taxa de erosão		Incerteza		Taxa de erosão		Incerteza	
	(g/cm2/yr)	(m/Ma)	Interna (m/Ma)	Externa (m/Ma)	(g/cm2/yr)	(m/Ma)	Interna (m/Ma)	Externa (m/Ma)
CATFOZ13	0,00247	10,7	0,188	0,677	0,00247	9,87	0,174	0,626
PANMON7	0,0137	65	1,85	4,28	0,0137	54,6	1,55	3,59
PANFOZ9	0,0106	46,1	1,37	3,06	0,0106	42,3	1,25	2,81
PINFOZ11	0,00179	7,7	0,164	0,503	0,00179	7,15	0,153	0,466

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

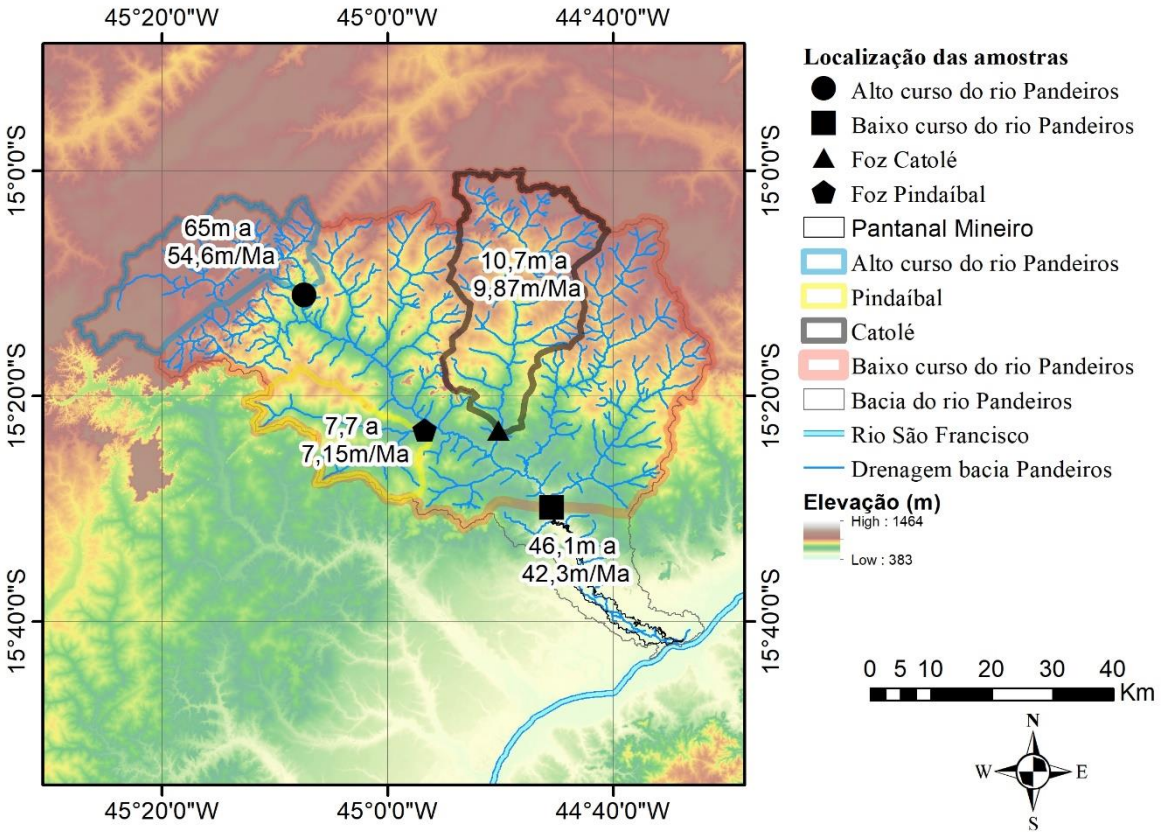
A amostra PANMON7 representa o alto curso do rio Pandeiros, localizado próximo ao povoado de Cabeceirinhas, após o *front* da chapada (Figuras 37, 38 e 41). Neste local os valores de taxas de desnudação por milhão de anos são de 54,6 m a 65 m, com uma média de 59,8 m, sendo o maior valor encontrado na bacia do rio Pandeiros. Esta área, representa, portanto, em escala temporal que envolve até 1,4 milhão de anos, a maior contribuinte de sedimentos na bacia, o que implica em uma dinâmica de erosão mecânica muito acelerada, se comparada, por exemplo com estudos realizados no Quadrilátero Ferrífero (BEZERRA, 2018), Espinhaço Meridional (BARRETO *et al*., 2013) e até mesmo a áreas localizadas na Cordilheira dos Andes na Bolívia (HIPPE, 2012), representando, contudo, valores aproximados para relevos típicos de escarpas brasileiras (SALGADO *et al*., 2014).

A amostra CATFOZ13 representa a erosão na margem esquerda da bacia do rio Pandeiros, por meio de seu maior afluente, o ribeirão Catolé. A taxa de desnudação, entre 10,7 m e 9,87 m, com média de 10,28 m por milhão de anos, demonstra um valor menos acelerado do que no alto curso do rio Pandeiros; se comparado a outros valores no Brasil, ainda permanece elevado (BARRETO *et al.*, 2013; BEZERRA, 2018).

Já a amostra PINFOZ11 representa a margem direita da bacia do rio Pandeiros, coletada na foz do córrego Pindaibal, com valores entre 7,7 m e 7,15 m e média de 7,4 m por milhão de anos. É o menor valor encontrado na bacia do rio Pandeiros, e confirma as análises de mapeamento geomorfológico realizadas previamente neste trabalho, pois corresponde à

unidade geomorfológica com menor energia e circulação de matéria na bacia do rio Pandeiros, excetuando o PRP (Figuras 38 e 41).

Figura 41 - Taxas de desnudação média na bacia e sub-bacias do rio Pandeiros.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Por fim a amostra PANFOZ9 (Figura 41), representa uma taxa média para toda a bacia hidrográfica do rio Pandeiros, com valores de desnudação entre 46,1 m e 42,3 m, com uma média de 44,2 m por milhão de anos. Este valor indica uma forte influência das erosões aceleradas em curso, pelo menos durante a maior parte do Quaternário, no alto rio Pandeiros, na escarpa de dissecação da chapada; mostra ainda o montante médio da retirada de boa parte dos sedimentos que saem do alto curso e passam pelo baixo curso do rio Pandeiros em direção ao PRP em uma escala temporal de 1,4 Ma, revelando também que uma parte dos sedimentos pode ficar temporariamente no trecho médio da bacia. Estes dados médios de desnudação da bacia hidrográfica estão relacionados com o objetivo deste trabalho de verificar a contribuição dos sedimentos oriundos da bacia do rio Pandeiros na escala temporal do Holoceno e Pleistoceno inferior (até 1,5 milhão de anos), por meio do uso do ^{10}Be.

Os valores obtidos (Figura 41) mostram dois conjuntos de dados: um, mais baixo, com média próxima de 8,85 m/Ma e outro, com 52 m/Ma, ou seja, valor cerca de 5 vezes mais alto

do que os valores mais baixos medidos na área. Os valores mais baixos foram encontrados nas duas margens da bacia do rio Pandeiros, 7,7 m/Ma a 7,15 m/Ma, na margem direita e 10,7 m/Ma a 9,87 m/Ma, na margem esquerda. Estes valores podem ser correlacionados com os resultados também do mapeamento geomorfológico, onde estas unidades representam áreas com intensidade de energia e disseção médias.

Os valores mais elevados (Figura 41) da bacia, de 65 m/Ma a 54,6 m/Ma, estão concentrados no canal principal no alto rio Pandeiros, e os menores, de 46,1 m/Ma a 42,3 m/Ma, na área da PCH, na foz do rio, podendo ser considerado como a taxa média da bacia. Esses dados corroboram o que é esperado, em geral, das taxas da desnudação, com valores mais elevados, associados a áreas de saída de material e os mais baixos, nas porções mais deprimidas do relevo, sendo que o valor do baixo curso do rio Pandeiros, embora relativamente elevado quando comparado com os de outras bacias brasileiras (SALGADO, 2014), representa também um valor médio pois constitui um mix de sedimentos de toda a bacia.

Os valores elevados do alto curso do rio Pandeiros, que inclui o domínio geomorfológico denominado de Áreas com Intensa Dissecação e Dinâmica e a Unidade do Planalto Residual, indicam que a saída de grande quantidade de sedimentos, é decorrente dos processos de erosão que avançam verticalmente, formando voçorocas. A contribuição dessas formas erosivas para a desnudação pode, contudo, estar subestimada, já que há uma concentração muito baixa de ^{10}Be nos sedimentos, podendo, inclusive não conter nenhum ^{10}Be. Sendo assim, os valores mais altos da bacia podem não representar totalmente as taxas de erosão, sendo uma mistura de grãos, alguns com alta concentração e outros com baixa concentração de ^{10}Be em cada área amostrada. Os valores mais baixos da área de estudo, parecem ser mais representativos das taxas de erosão natural, sendo semelhantes aos encontrados nas paisagens estudadas por Bezerra (2018) no Quadrilátero Ferrífero.

5.2.3. Contribuição da vazão do rio Pandeiros para o PRP

Na bacia do rio Pandeiros há uma acelerada taxa de erosão que ocorre durante a maior parte do Quaternário (Tópico 5.2.2). Como em qualquer bacia de drenagem, todo o material erodido do rio Pandeiros tende, em maior ou menor quantidade, com maior ou menor velocidade, a ser transportado para o baixo curso em direção ao canal do rio São Francisco. A maior área de contribuição de sedimentos na bacia é oriunda da unidade geomorfológica Áreas Com Intensa Dissecação e Dinâmica (Tópico 5.2.1), apesar da possível contribuição de

processos erosivos acelerados, na forma de voçorocas, que também ocorrem nas margens direita e esquerda do baixo curso do rio Pandeiros, no entorno do PRP (LIMA, 2019).

Mesmo na escala de detalhe das subunidades hidrogeomorfológicas do PRP, não foi possível identificar quais são as áreas fonte hodiernas de maior fluxo de sedimentos, nem quais as de maior deposição hodierna de sedimentos são as únicas responsáveis pelo assoreamento do PRP. No entanto, fica evidente que, em uma escala temporal envolvendo quase todo o Quaternário, esta *wetland* convive com uma dinâmica de aporte de sedimentos oriundos da bacia do rio Pandeiros, principalmente do seu alto curso, oriundos de erosão muito ativa e acelerada, representada possivelmente pela ocorrência de processos lineares acelerado de fluxos concentrados de *runoff*, bem como laminares, que não envolvem apenas a escala de tempo antropogênica.

Como os mecanismos de transporte de sedimentos não envolvem apenas a disponibilidade de material a ser erodido, mas também o regime hidrológico existente ao longo do tempo responsável pela vazão e, assim, pelo transporte do material erodido, foi necessário realizar uma análise dos dados de vazão do rio Pandeiros. Foram utilizados os dados, embora representativos de apenas um curto intervalo recente de tempo, da estação fluviométrica 44250000, localizada a montante da PCH do rio Pandeiros (Figuras 11, 12 e 42). O comportamento destes dados é importante porque corrobora o entendimento de que não é apenas a quantidade de água que escoa para o PRP ao longo do tempo, mas também seu intervalo**,** sua capacidade e regime de transporte, estão envolvidos na disponibilização dos sedimentos na área da bacia e que são eventualmente depositados no PRP. A análise destes dados não pretende reconstruir o regime de transporte de sedimentos indicados pelo cálculo médio da taxa de desnudação por bacia na escala milenar, mas indicar que pode haver uma sazonalidade, correlacionada com os pulsos de inundação, durante os quais, pode haver uma tendência de maior ou menor condição do aumento de material transportado, juntamente com maior ou menor umidade, contribuindo com a inundação do PRP nos últimos 43 anos.

Na figura 42 é apresentado o hidrograma médio do ano hidrológico, que se inicia em 1 de outubro quando começa o período chuvoso na região, para o período de dados disponível na estação, que vai de 1975 até 2018. O valor médio mínimo é de 12,86 m^3/s, que ocorre a partir do mês de julho até o início de outubro. O valor da média é de 20,80 m^3/s e ocorre entre os meses de novembro (2ª quinzena) e abril, enquanto o valor da média máxima é de 34,27 m^3/s, correspondendo a um curto intervalo no mês de dezembro principalmente. O comportamento do hidrograma aponta comportamento irregular da curva, em especial durante a estação

chuvosa, o que pode indicar um comportamento marcado pela oscilação das precipitações, típica de regiões semiáridas.

Há uma concentração muito forte da precipitação a partir do início da estação chuvosa, aumentando rapidamente a vazão e atingindo os maiores valores no mês de dezembro (Figura 42). A partir daí, os valores vão decrescendo lentamente, com uma redução significativa entre os dias 140 e 150 do ano hidrológico (Apêndice A).

Figura 42 - Vazão média ao longo do ano hidrológico do rio Pandeiros à montante do PRP.

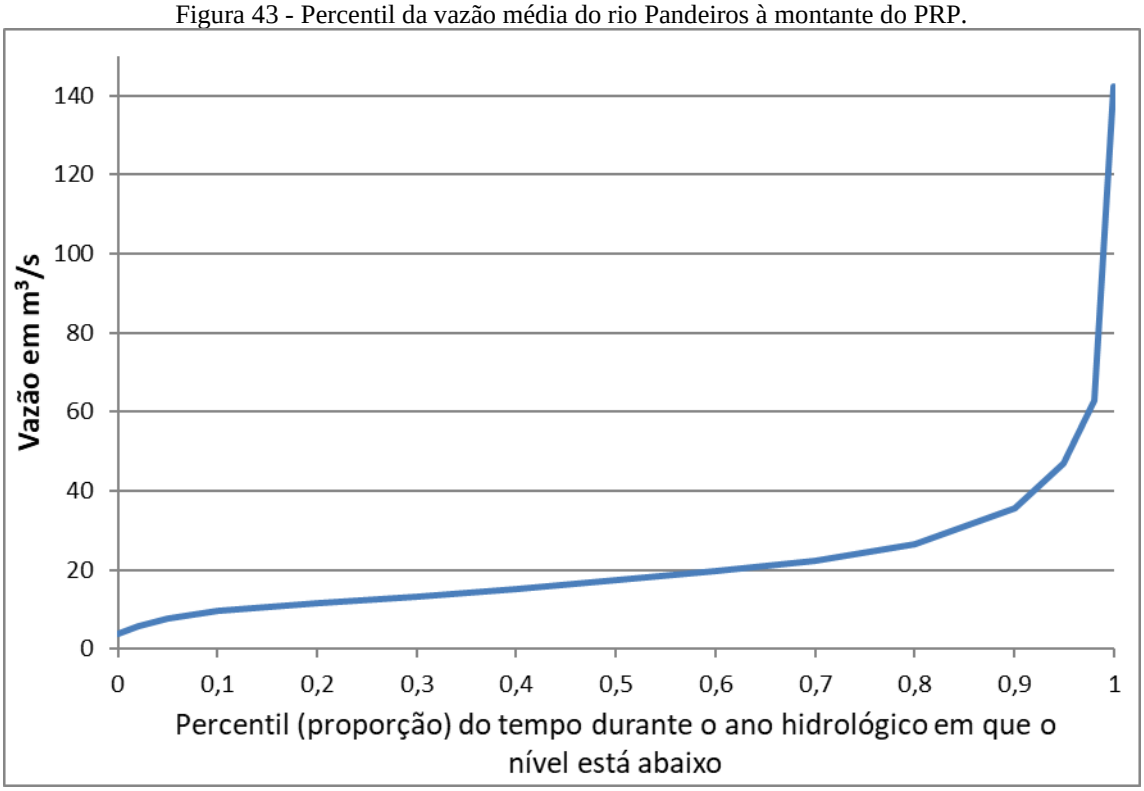


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Novo aumento ocorre do restante do mês de março até abril, próximo ao dia 191 do ano hidrológico (Figura 42). A partir do início deste mês ocorre uma redução abrupta da vazão, que vai se estabilizar por volta no dia 269, no final de junho, seguindo em ritmo decrescente, mas mais lento durante a estação seca.

Na Figura 43 estão apresentados os dados na forma de um percentil da vazão no tempo do ano hidrológico, indicando que em cerca de 70% do tempo, a vazão no rio Pandeiros é inferior a 22,25 m^3/s. Apenas em 20% do tempo, a vazão é superior a 26,52 m^3/s, registrando como valor máximo 142,36 m^3/s registrado na estação, sendo, contudo uma exceção, pois em 98% do tempo a vazão é inferior a 62,86 m^3/s. Até 10% do tempo, a vazão é inferior a 9,68 m^3/s e em apenas 2% do ano hidrológico a vazão é inferior a 5,83 m^3/s.

Figura 43 - Percentil da vazão média do rio Pandeiros à montante do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os valores diários de vazão do rio Pandeiros, desde o início do ano hidrológico de 1975 até o fim do ano hidrológico de 2018 estão plotados na figura 44. Verifica-se que os valores têm uma variação muito grande ao longo do ano hidrológico, sofrendo grande variação ao longo do tempo. Infelizmente, devido à inexistência de dados anteriores a 1975, não é possível analisar o efeito que a PCH possa ter exercido sobre a dinâmica natural da vazão do rio Pandeiros, visto que esta foi construída no final da década de 1950 (FONSECA *et al.*, 2008).

Os valores máximos de vazão têm um comportamento sazonal, sendo que até o fim da década de 1970, estes não ultrapassavam 80 m^3/s (Figura 45). A partir da década de 1980 até o início da década de 1990, há um aumento significativo da vazão máxima, que alcança em alguns anos, vazão acima de 140 m^3/s, com o valor máximo registrado de 147 m^3/s. A partir da década de 1990 até o ano de 2007, os valores máximos de vazão voltam a ficar abaixo de 80 m^3/s. Contudo, recentemente, excetuando os anos de 2007, 2012 e 2018, os valores máximos de vazão ficaram abaixo de 60 m^3/s.

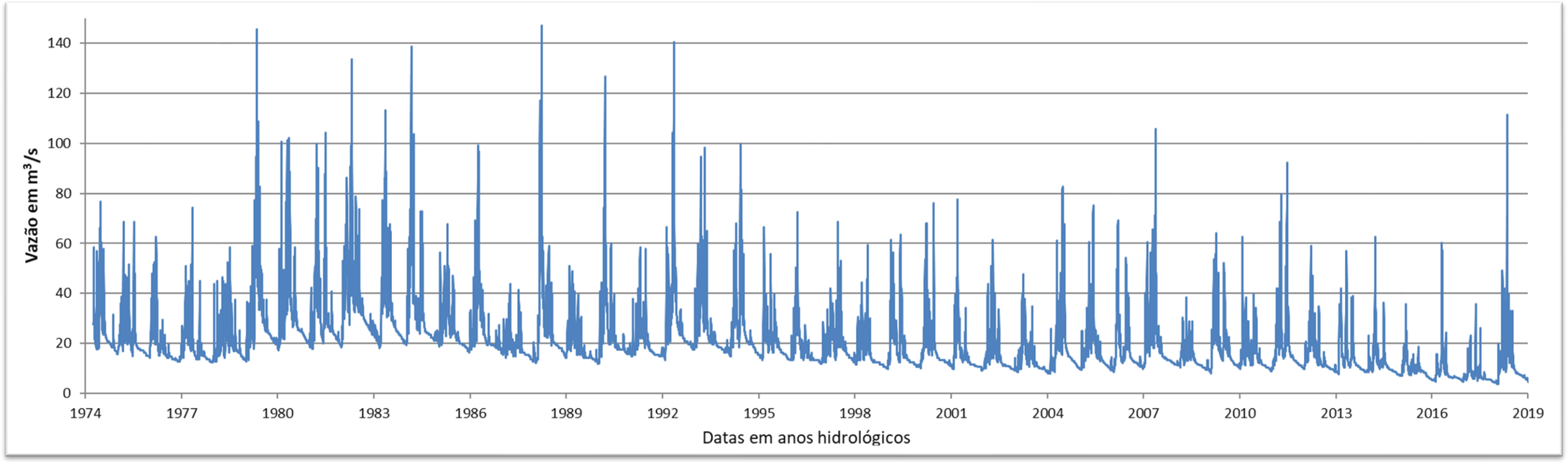
Quanto aos valores mínimos, até a década de 1970 (Figura 44), estes se encontravam normalmente abaixo de 20 m^3/s, sendo que o valor médio dos mesmos para todo o período analisado, foi de 20,8 m^3/s. No início da década de 1980, é possível observar que os valores mínimos ficaram sempre acima de 20 m^3/s, sendo que a partir de 1986, eles voltaram a baixar

para a vazão mínima. Os dados gerais, indicam, no entanto, que desde 1995, estes valores vêm registrado, a cada ano, até 2018, uma redução significativa, chegando ao valor mínimo registrado de 3,8 m^3/s durante toda a 2ª quinzena de 2017, já iniciado o ano hidrológico de 2018 (Figuras 44).

Na figura 45 estão os valores mensais de vazão para todo o período de dados. Foram analisados os valores mensais das mínimas, da média e das máximas. Eles indicam que os valores mínimos têm menor variação, se comparados com os valores de média e principalmente da máxima vazão no período. Estas informações confirmam as análises realizadas no gráfico dos valores diários (Figura 44), mostrando que, até o ano de 1979, os valores mínimos e médios estavam próximos a 20 m^3/s.

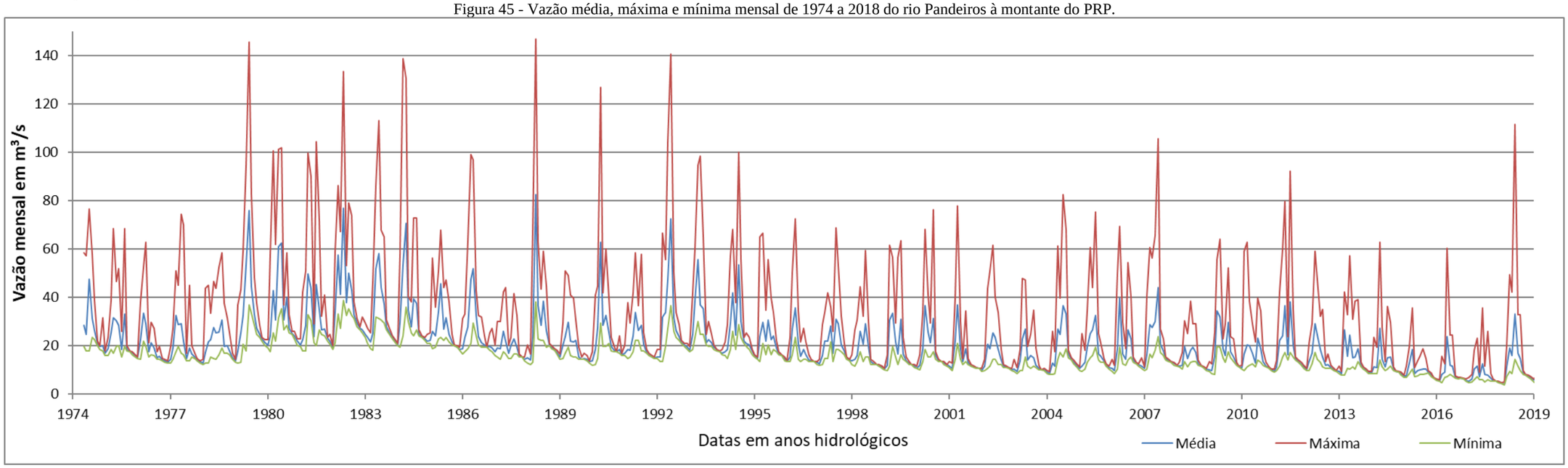
A década de 1980, em especial até o ano de 1986, representa o período de maior umidade na bacia do rio Pandeiros, quando todas as medições, incluindo a vazão mínima, estavam acima de 20 m^3/s. A partir de 1986, os valores vão decrescendo, retornando aos patamares da década de 1970, até o ano de 1995, quando, como já demonstrado, instala-se uma condição generalizada de redução da vazão, seja ela mínima, média ou máxima. Comparando esta série temporal a partir da década de 2000, a vazão reduziu pela metade, e na década de 2010, a vazão reduziu a ¼ do que foi em relação a série temporal.

Figura 44 - Vazão diária do rio Pandeiros à montante do PRP, de 1974 a 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 45 - Vazão média, máxima e mínima mensal de 1974 a 2018 do rio Pandeiros à montante do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O comportamento da vazão ao longo do tempo observado pode estar muito vinculado à distribuição das chuvas na área da bacia, que é a principal fonte de umidade para esta região (Figura 35). Contudo, alterações, como o desmatamento que ocorreu na superfície da bacia do Pandeiros ao longo do processo de ocupação do Cerrado com a agricultura moderna, desde a década de 1980, também afetam o escoamento superficial e, portanto, a vazão e a produção de sedimentos, levando ao assoreamento de canais fluviais e de *wetland*s, como as veredas (AUGUSTIN *et al*., 2009). Apenas a partir da segunda metade da década de 1990 é que essas áreas começaram a ser parcialmente protegidas com a criação das primeiras unidades de conservação nesta área.

A alteração na cobertura vegetal em áreas com geocoberturas friáveis pode comprometer a circulação superficial e subsuperficial da água, afetando a capacidade de recarga do nível freático que alimenta diretamente as *wetlands* existentes, que têm como um de seus serviços ambientais mais importante, a retenção de água para sua posterior liberação. O prejuízo deste efeito esponja, pode reduzir a vazão ao longo do período seco e até mesmo a um aumento do escoamento superficial durante o período chuvoso, levando a valores máximos de vazão com aumento de sua frequência dos cursos d'água.

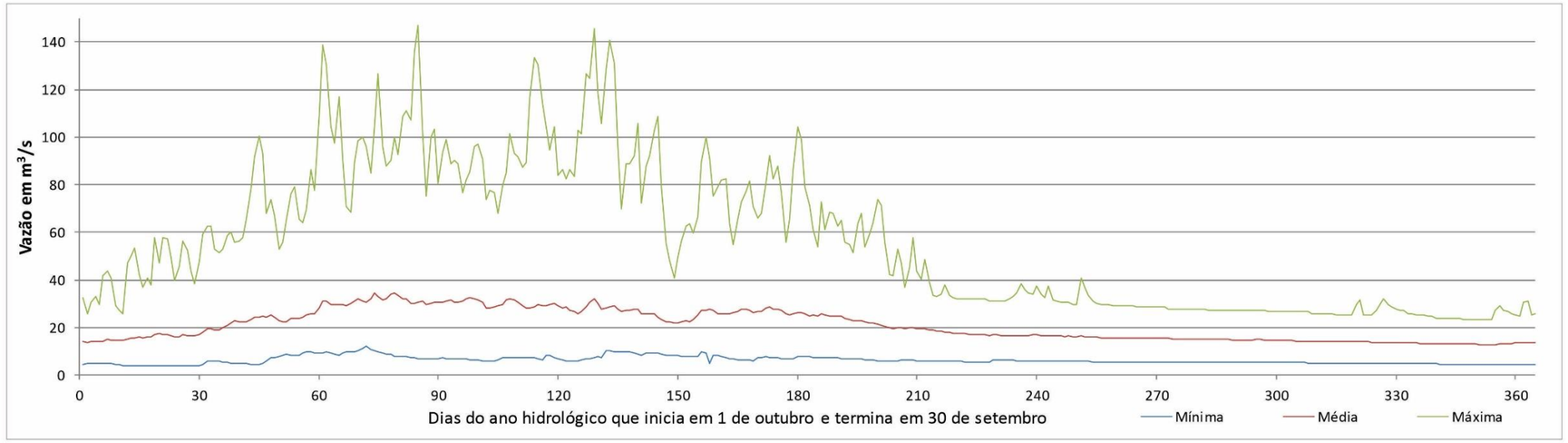
Na figura 46, estão apresentados os valores médios (mínimos, médios e máximos) para o ano hidrológico, calculados pela série temporal disponível (1975 a 2018). Nela, verifica-se que o comportamento a média das vazões mínimas do rio Pandeiros é muito estável, elevando-se muito discretamente durante os meses que concentram a precipitação (novembro a fevereiro), sendo o valor mínimo, já comentado, de 3,8 m^3/s, o médio de 6,2 m^3/s e máximo de 12,2 m^3/s no auge da estação úmida.

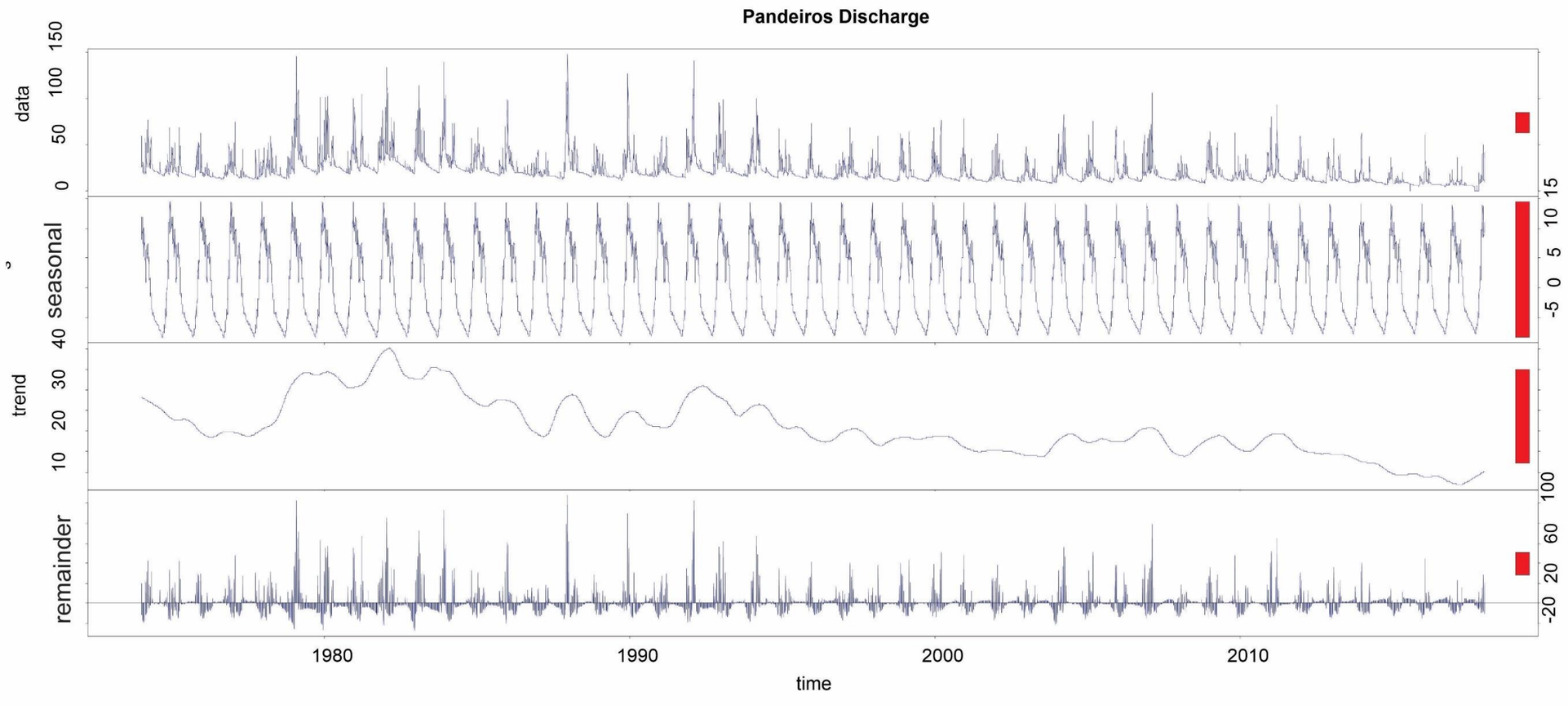
Os valores médios da vazão também seguem o mesmo comportamento observado com relação à vazão média mínima, com ligeiro aumento entre os meses de novembro a abril, com auge durante dezembro-janeiro (Figura 46). Os valores médios mínimos são de 12,85 m^3/s, média de 20,86 m^3/s e máxima de 34,69 m^3/s. Já os valores médios máximos possuem uma variabilidade muito grande. Há um pico de máximas durante o mês de dezembro, normalmente acima de 100 m^3/s, valor que se reduz durante praticamente todo o mês de janeiro, para voltar a ultrapassar a margem de 100 m^3/s no fim de janeiro até a 2ª quinzena de fevereiro, quando volta a reduzir, atingindo um mínimo (40 m^3/s) no fim deste mês, apresentando um novo aumento no mês de março. A partir do mês de maio, passam a ter um comportamento estável, durante a estação seca.

Ainda na mesma figura 46 são apresentados os resultados análise de *seasonal-trend decomposition* (STL). Ela consiste em um filtro para decomposição de valores de séries temporais em 3 componentes: *trend*, que analisa estacionariedade e mudanças de nível dos dados; *seasonal*, que analisa frequências sazonais pelos dados e *remainder*, que analisa os distúrbios residuais dos dados, para além da análise do *trend* e do *seasonal* componentes. A análise do componente *trend* mostra que realmente houve uma redução do valor de vazão do rio Pandeiros ao longo da série temporal, a partir da década de 2010 para valores abaixo da média de 20 m^3/s, que ainda não haviam sido registrados.

O componente *seasonal* demonstra a sazonalidade anual dos dados, entre a estação úmida e seca, ressaltando a grande variação dimensional e a transição abruta entre as estações. O componente *remainder* aponta as grandes variações que ocorreram no período, principalmente nos anos com maior umidade, como no final da década de 1970, final da década de 1980, início da década de 1990 e o ano de 2007, quando ocorreram grandes aumentos de vazão no rio Pandeiros**.**

Figura 46 - Média, mínima e máxima da vazão do rio Pandeiros à montante do PRP (ACIMA) e *Seasonal trend decomposition* dos dados de vazão da estação fluviométrica da PCH do rio Pandeiros (ABAIXO).





Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Diante desta caracterização do comportamento da vazão do rio Pandeiros, percebe-se que os maiores valores estão concentrados apenas no clímax do período úmido, especialmente no mês de dezembro. Pode-se inferir que durante este mês é que há maior possibilidade de transferência de sedimentos da montante para a *wetland*, bem como a maior contribuição de água para sua inundação.

Não foram tratados dados de nível do rio Pandeiros, pois entende-se que, devido a presença de várias cachoeiras entre a PCH e o início do PRP, a diferença altimétrica não representa uma influência direta para a inundação do PRP, excetuando sua condição de confinamento longitudinal no sentido montante – jusante. Do contrário, a vazão, ou seja, o volume de água por tempo que chega à área do PRP possui maior papel em função do volume de água que pode ser acumulada no PRP, caso haja condições físicas para sua acumulação, que passa a ser apresentada agora pela análise do nível topográfico local do PRP que pode ser entendido como sendo definido pelo nível do rio São Francisco.

5.2.4. A importância da alteração efêmera do nível da altura da coluna de água do rio São Francisco para a existência do PRP.

O nível de base do PRP é estabelecido, a médio e longo prazo, pelo nível de base do rio São Francisco na foz do rio Pandeiros. Este nível, por sua vez, tem influência na altura da coluna de água que o rio São Francisco apresenta em períodos de inundação (condição temporária), como ilustrado na figura 47, que mostra a variabilidade desta altura durante a estação úmida e a estação seca. Este tema também é apresentado no item 5.3.1, e na figura 85B, que apresenta o mapa de altitudes do PRP. Nele, percebe-se que principalmente a porção sul do PRP forma uma depressão que tem praticamente a mesma altitude do canal do rio São Francisco na foz do rio Pandeiros. Assim, quando ocorre uma alteração do nível da coluna de água deste rio, é criada a condição física para inundar o PRP, que possui a mesma altitude na área indicada.

Figura 47 - Foz do rio Pandeiros em diferentes cotas do rio São Francisco, alteradas temporariamente em diferentes momentos, a depender de variações hidrológicas ao longo do ano hidrológico.

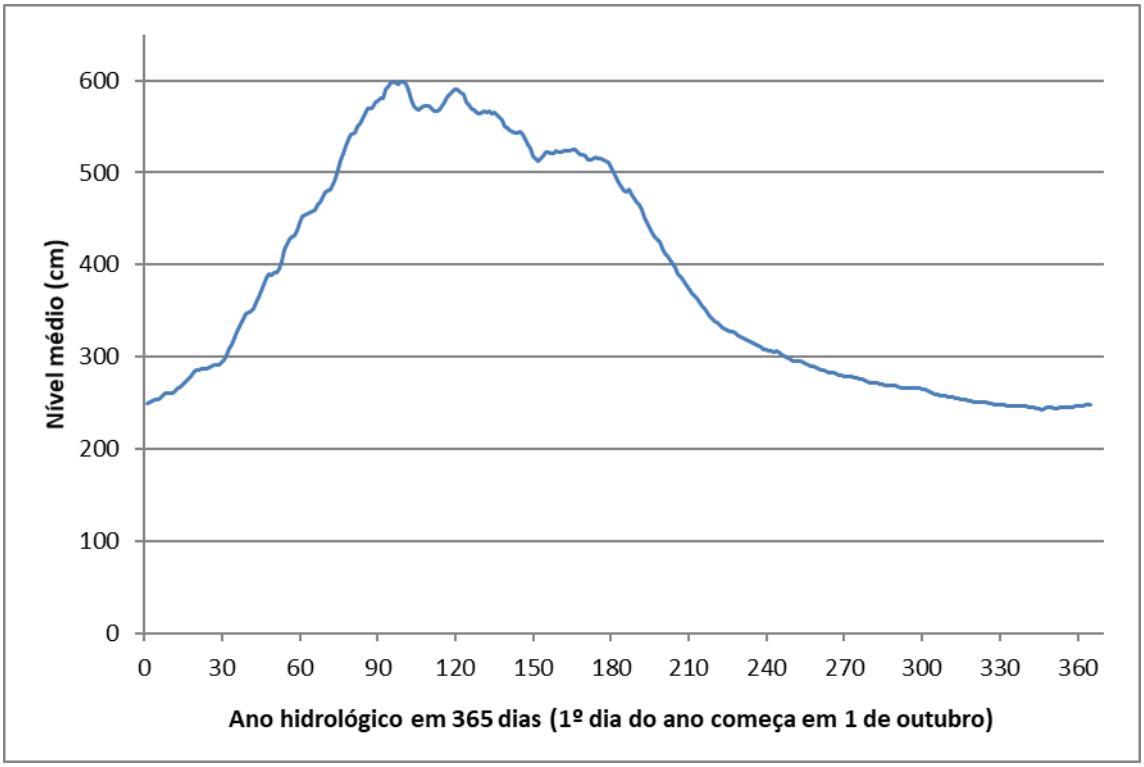


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na fotografia do dia 10 de fevereiro, o nível das águas do rio São Francisco estava com uma cota entre 369cm e 394 cm. No dia 1 de outubro, o nível estava em 140 cm, valores respectivos medidos na estação fluviométrica 44200000 (Figura 47).

O hidrograma do nível médio do rio São Francisco mostra os dados fluviométricos da estação 44200000, situada na cidade de São Francisco, a cerca de 42 km a montante da foz do rio Pandeiros (Figura 48). Ela constitui uma estação importante para esta análise porque contém uma série temporal contínua e significativa, desde 1925 até 2018 e desde o ano de 2018, conta também com uma estação telemétrica, que realiza leituras a cada hora.

Figura 48 - Nível médio ao longo do ano hidrológico do rio São Francisco na estação fluviométrica de São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os dados desta estação fluviométrica mensuram, portanto, a cota do rio São Francisco quanto à sua altura, que neste estudo é considerado o nível da coluna de água deste rio. Variações nesta cota representam alterações efêmeras, ou temporárias, nas cotas altimétricas do rio Pandeiros, criando condições para o deságue das suas águas no rio São Francisco, ou a sua retenção e acumulação, a depender da cota no momento do rio São Francisco, ao longo do ano hidrológico (Figura 48).

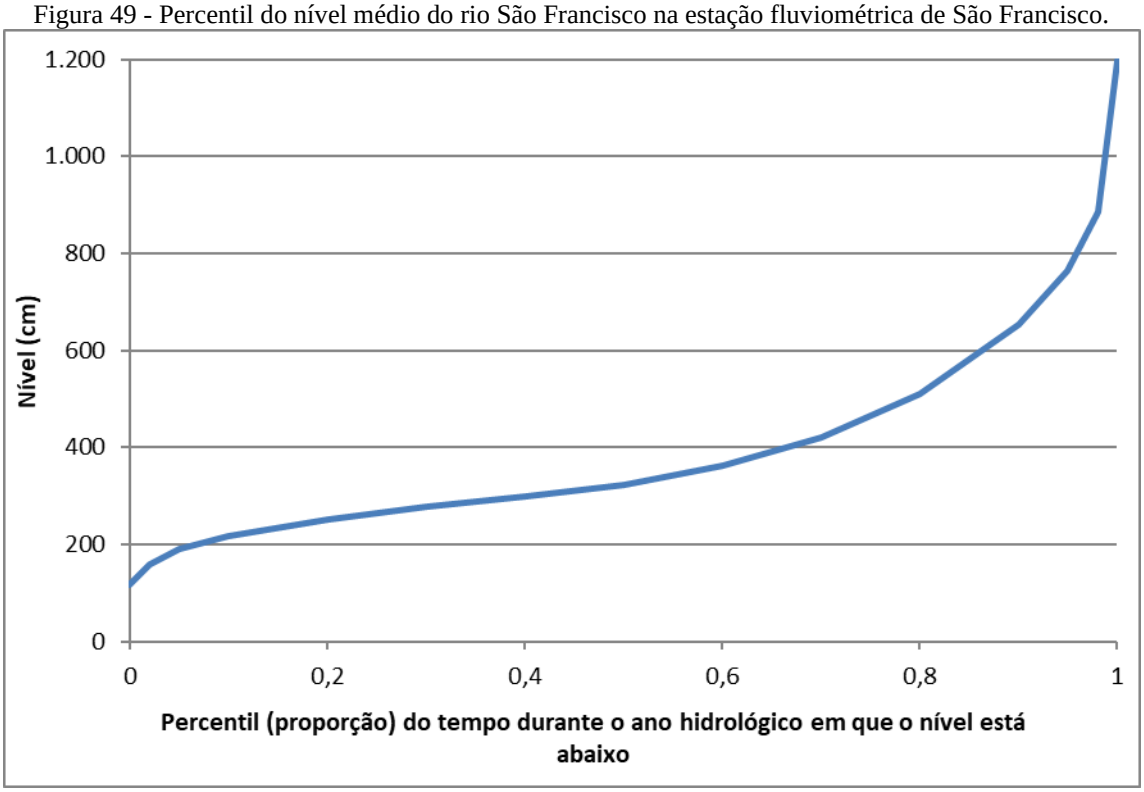
O nível do rio São Francisco na estação analisada apresenta um valor médio de 242,49 cm, com uma mínima das médias de 598,98 cm e máxima das médias, de 385,26 cm, que representa o valor médio para o ano hidrológico. A partir do dia 74 até o dia 183 do ano hidrológico, que tem início em 1º de outubro, o nível médio do rio atinge mais de 500 cm, no período de dezembro a março. Entre os dias 252 e 31 do ano, durante os meses secos de junho ao final de outubro, ele fica abaixo do nível de 300 cm (Figura 48).

O rio São Francisco atingiu, na área, o seu maior nível durante o mês de janeiro, logo nos primeiros dias (Figura 48). A partir do dia 102, há uma pequena redução no nível, que a partir do dia 114, também em janeiro, mostra uma nova elevação da cota, que volta a cair após o dia 123, no mês de fevereiro, quando há uma redução da cota do nível do rio que, mesmo com o nível ainda alto, começando a diminuir em um ritmo constante. A partir do dia 152 (início de

março) há uma estabilização do nível do rio, permanecendo até o dia 180, aproximadamente (fim de março) quando volta a cair, desta vez em um ritmo mais acelerado, até alcançar uma relativa estabilidade, por volta do dia 300 (final de julho), quando se mantêm em um nível médio próximo de 250 cm que perdurando durante toda a estação seca.

O percentil do nível da cota do rio São Francisco ao longo do período analisado (Figura 49), mostra que o intervalo vai de 2% do tempo em que o nível esteve abaixo de 160 cm, a 10% do tempo em que o nível do rio esteve abaixo de 217 cm. Na metade do tempo, o rio esteve abaixo de 324 cm e apenas em 20% do tempo ele esteve acima de 511 cm. Em apenas 1% do tempo ele esteve acima de 1.198,71 cm, sendo este valor foi uma exceção, pois em 98% do tempo ele esteve abaixo de 885 cm, indicando que normalmente o nível do rio esteve entre 200 cm e 400 cm na maior parte do intervalo de dados registrados.

Figura 49 - Percentil do nível médio do rio São Francisco na estação fluviométrica de São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

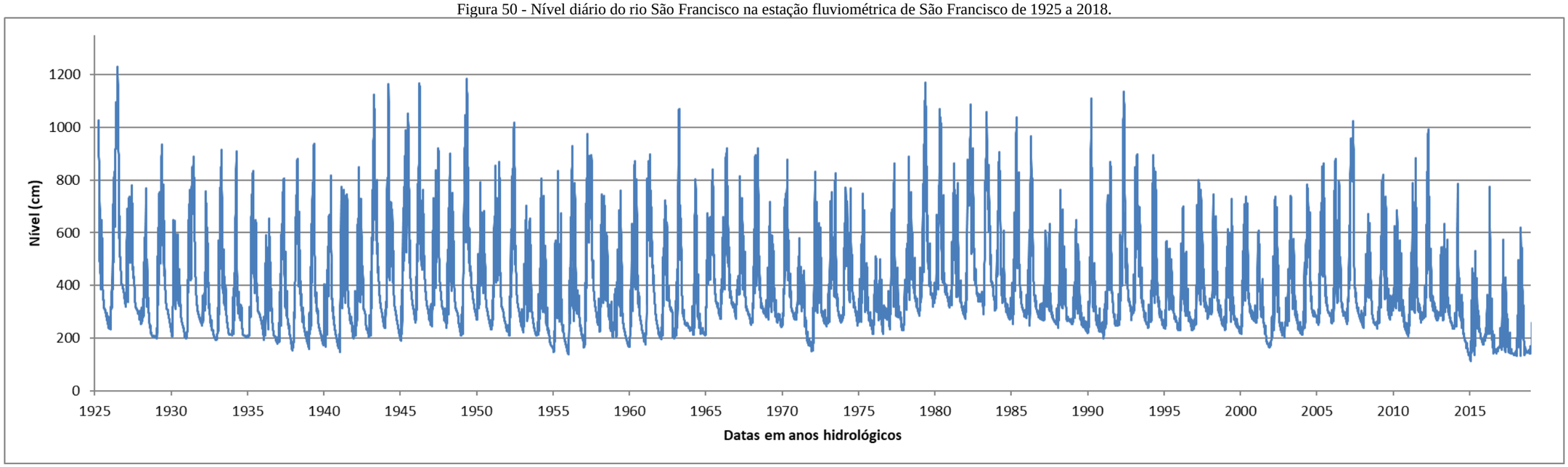
Os valores de nível diário do rio São Francisco, ao longo de toda a série histórica estão plotados na figura 50. São 34.310 dados, cujo valor mínimo foi de 114 cm (dias 22 e 23 de outubro de 2015), o valor médio de 385,25 cm, e o valor máximo foi de 1.230 cm (dia 5 de abril de 1926). Nestes intervalos, os períodos mais secos foram: os anos de 1938 a 1941, 1955 a 1957, 1960 a 1961, 1972, 2002 e de 2015 a 2019, quando os valores do nível do rio estiveram

abaixo de 200 cm. Chama a atenção que neste último intervalo, não só os valores estiveram abaixo de 200 cm, mas alcançaram também os menores valores mínimos da história dos registros.

Os anos com maiores níveis foram 1926, de 1943 a 1949, 1952, 1963, de 1979 a 1985, 1990, 1992, 2007 quando a cota esteve acima de 1.000 cm e no ano de 2012, quando esteve em 967 cm (Figura 50). Nota-se que sempre houve uma grande sazonalidade do nível da cota do rio, oscilando entre 200 cm e 1.000 cm, com alguns anos com valores mais baixo, outros, mais alto. É, no entanto, notável a redução de todos os níveis, máximo, médio e mínimo a partir de 2012, se aproximando dos valores de 1996 e 1976 em termos de magnitude, mas com maior duração até o momento.

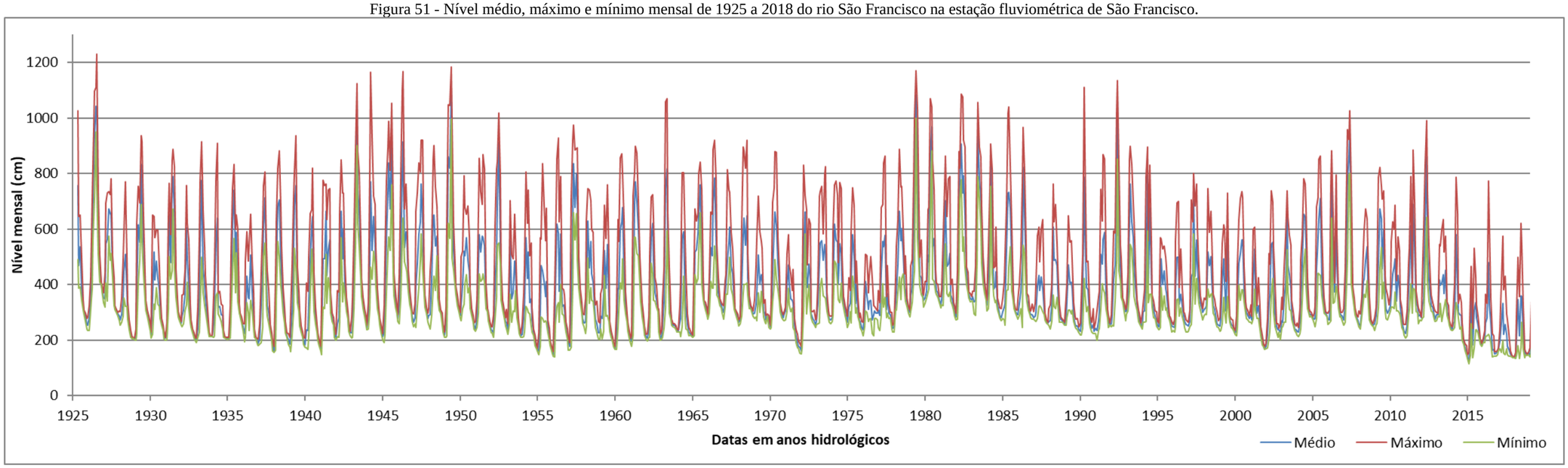
Os valores das médias mensais (máxima, mínima e média) para o período, mostram que o comportamento do gráfico é muito semelhante aos valores diários (Figura 51). Nota-se que nos anos mais úmidos, o nível do rio manteve-se extraordinariamente elevado na média mensal, o que sugere a ocorrência de eventos chuvosos de longa duração nos quais o nível do rio esteve elevado.

Figura 50 - Nível diário do rio São Francisco na estação fluviométrica de São Francisco de 1925 a 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 51 - Nível médio, máximo e mínimo mensal de 1925 a 2018 do rio São Francisco na estação fluviométrica de São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 52 estão plotados os valores médios (máxima, média e mínima) dos dados classificados no ano hidrológico. Os valores mínimos apresentam-se próximos de 200 cm, enquanto o valor médio mínimo foi de 114 cm, o médio das mínimas de 164 cm e máximo das mínimas 280 cm. Estes valores mínimos mais elevados (acima de 200 cm), estão concentrados entre o fim do mês de novembro e durante dezembro, abaixando no mês de janeiro, e ficando acima de 200 cm, em média entre os meses de fevereiro e abril, com maior oscilação neste período. O mês de fevereiro registra os valores de mínima mais elevados.

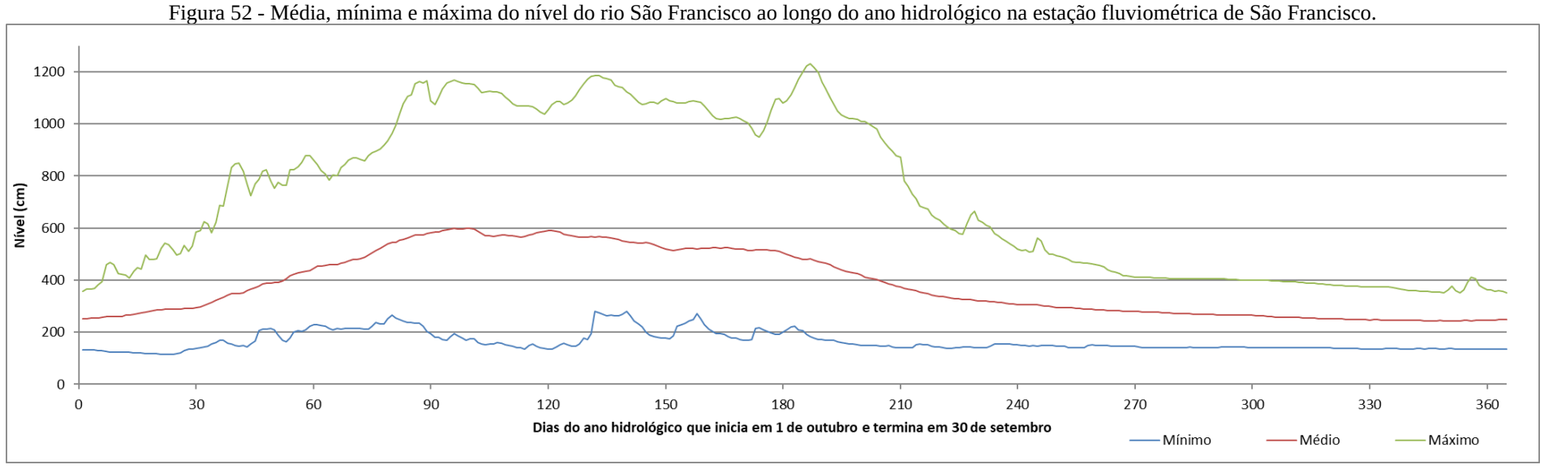
Os valores de máxima estão concentrados entre os dias 21 e 248 (outubro a início de junho), quando o nível está acima de 500 cm em média (Figura 52). Deste intervalo, entre os dias 81 e 203 (dezembro a abril), os valores estão, em média, acima de 1.000 cm, sendo o dia 188 o que apresentou a maior máxima (mês de abril). Os valores médios das máximas foram: 350 cm, mínima da máxima, 724,32 cm e a média da média e 1.230 cm a máxima das máximas.

A análise de *seasonal-trend decomposition* (STL) para os níveis do rio São Francisco (Figura 53) mostram para o componente *seasonal*, que apesar de mantida a sazonalidade entre as estações seca e úmida, houve alteração na amplitude de 1926 a 2018, ficando menor, principalmente a partir da década de 1970.

O componente *trend* revela uma queda substancial do nível do rio São Francisco, e mostra períodos em que este se manteve mais elevado (década de 1920 e 1930, 1950 e 1980) e outros em que se manteve mais baixo (décadas de 1940, 1960 a 1970 e 1990 a 2000), além do acentuado declínio atual (década de 2010).

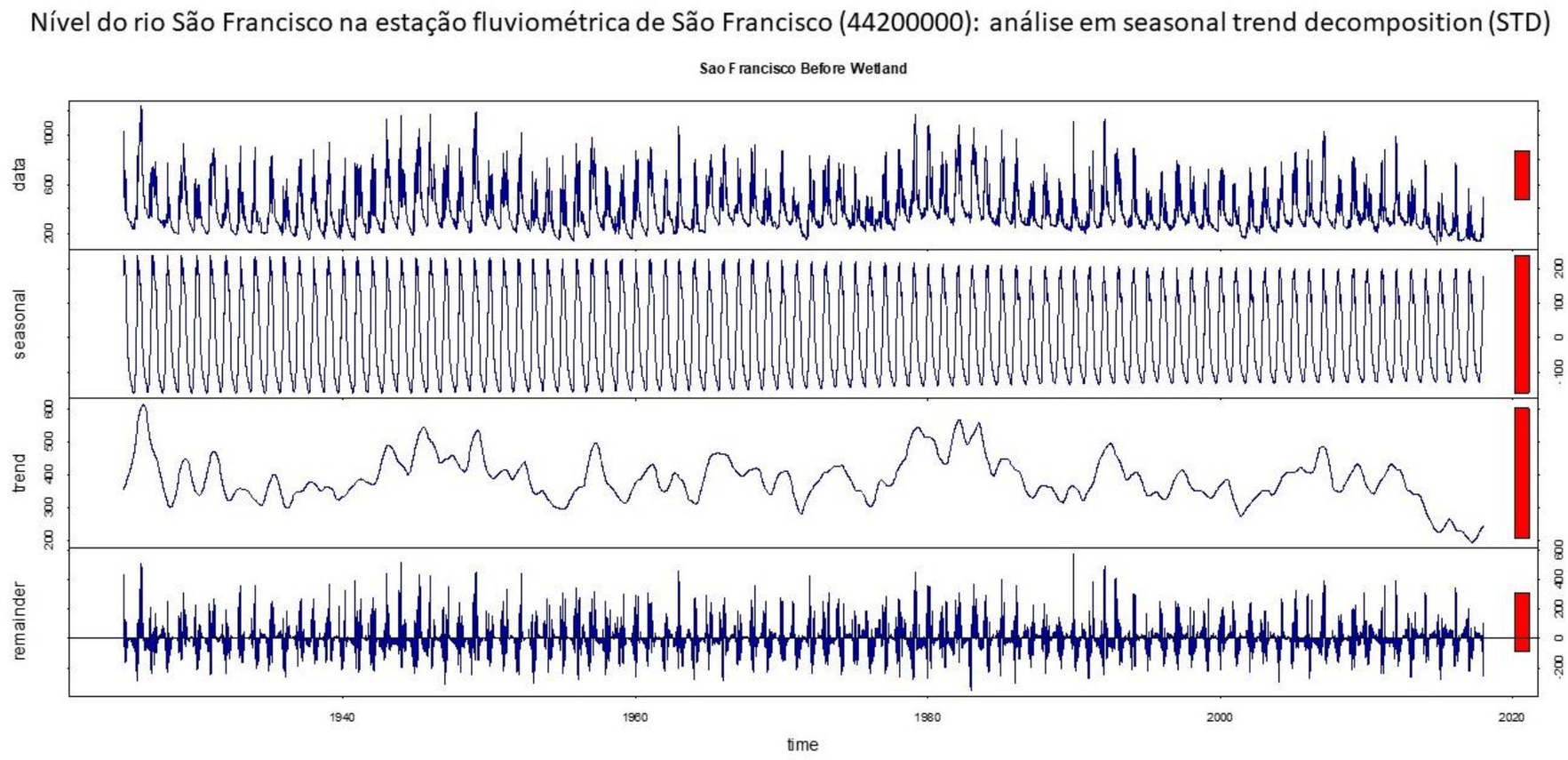
O componente *remainder* mostra algumas anomalias, positivas (alguns anos das décadas de 1980 e 1990) e negativas (alguns anos do início da década de 1980 na década de 1950), para o intervalo, mas mantendo um padrão de recorrência de níveis diferentes das tendências de períodos de maior ou menor nível do rio.

Figura 52 - Média, mínima e máxima do nível do rio São Francisco ao longo do ano hidrológico na estação fluviométrica de São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 53 - Análise do *seasonal trend decomposition* dos dados da estação fluviométrica de São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.2.5. Características dos pulsos de inundação na wetland do PRP

Quando o fenômeno da ZCAS ocorre sobre a bacia do rio São Francisco, a precipitação que pode abranger diferentes áreas da bacia, distribui água a partir dos afluentes, em direção ao canal principal de cada bacia hidrográfica. No Alto curso do rio São Francisco, o volume escoado pelo canal principal é atualmente armazenado no lago da Usina Hidrelétrica (UHE) de Três Marias. Este lago tem a função de regular a vazão do rio a jusante, disponibilizando água no período seco do ano, e por ser o primeiro lago da bacia do rio São Francisco, tende muitas vezes a operar com baixos níveis. Quando o nível da represa está alto, e o acumulado de precipitação é muito grande, torna-se necessário, no entanto, aumentar a vazão e a represa têm suas comportas abertas, aumentando significativamente o fluxo de água a jusante.

No trecho compreendido entre o lago da UHE de Três Marias e até a Foz do rio Pandeiros estão localizados os maiores afluentes da bacia do rio São Francisco: o rio Urucuia, Paracatu e Velhas. O fluxo de água que escoa por estas três bacias durante os episódios de ZCAS também se concentra no canal principal do rio São Francisco. Assim, a vazão dos pulsos de inundação que ocorrem nestas três bacias, somadas à vazão da UHE de Três Marias, a qual pode estar associada com a abertura das comportas, são os principais componentes que formam o pulso de inundação que chega à foz do rio Pandeiros e pode influenciar o PRP (Figura 54).

No momento em que o pulso de inundação, durante ou após as volumosas precipitações a montante, atinge o canal do rio São Francisco, causa um aumento do nível da coluna de água na foz do rio Pandeiros. Esta alteração temporária irá durar enquanto o nível e a vazão do rio São Francisco se mantiverem altas. No momento imediato após esta elevação, o canal do rio Pandeiros, entre a foz e o PRP, tem o sentido de seu fluxo invertido, e o rio São Francisco passa a inundar o PRP com suas águas cheias de sedimentos.

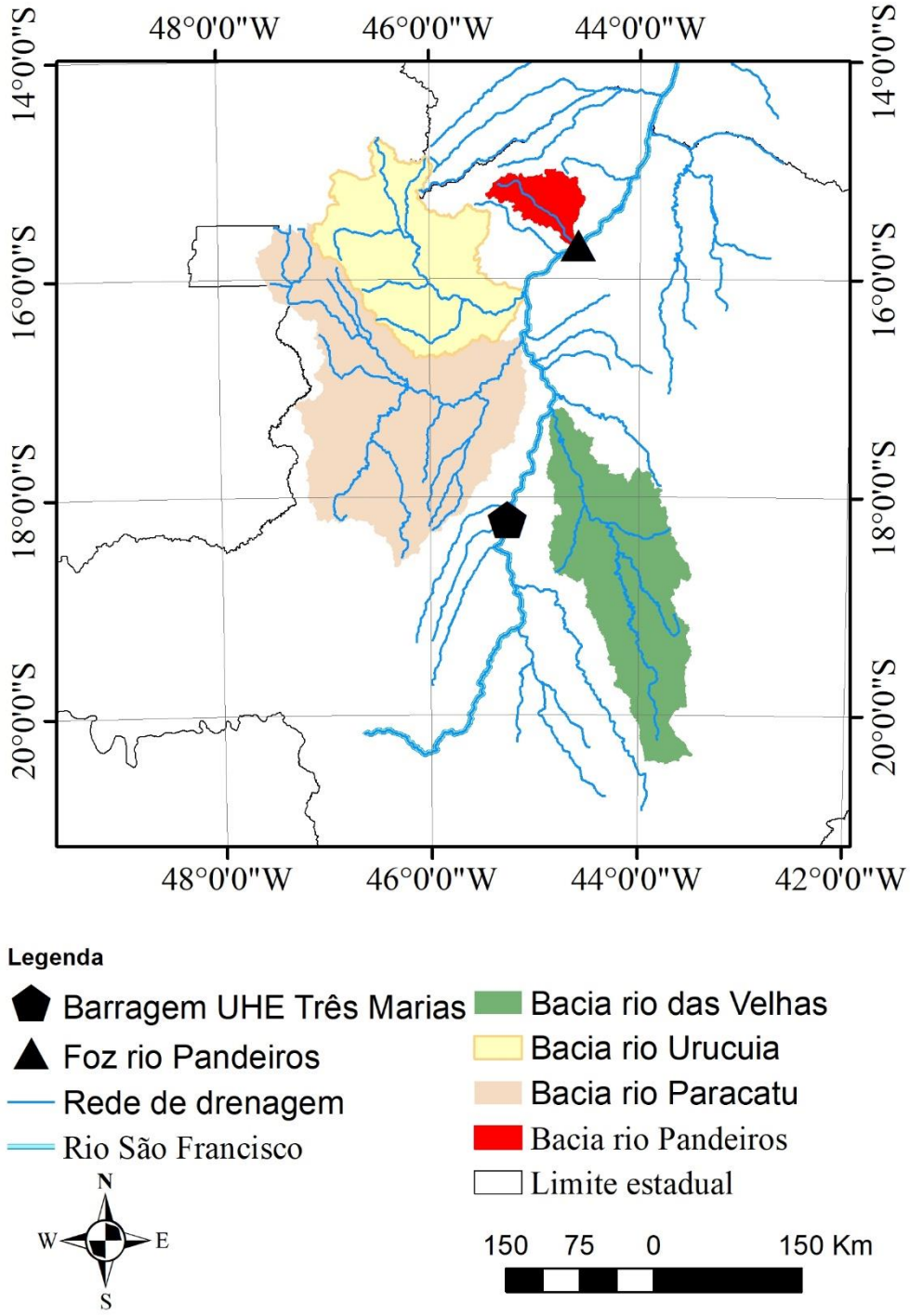
Esta dinâmica, que tem uma variação muito dependente de vários fatores, como a configuração geomorfológica das planícies de inundação, existência de depressões, por exemplo, tanto no rio São Francisco como em seus vários afluentes, associados ao comportamento da variação do nível da água e de sua vazão, perdura até o momento em que o rio Pandeiros tem um grande volume de água represado, a depender da quantidade de chuvas que caem sobre a sua bacia ou, por outro lado, da manutenção da elevação da cota e da vazão do rio São Francisco.

Assim que o rio São Francisco perde, ao menos parcialmente estas propriedades, a água do rio Pandeiros volta a retomar o sentido do curso para sua foz, e o Pantanal volta a ficar, mesmo que inundado, com as águas cristalinas do rio Pandeiros. A redução do nível da água do

PRP somente ocorre quando o pulso de inundação cessa, e a cota do rio São Francisco baixa, e o PRP começa a ser drenado. Neste sentido, entende-se que durante os pulsos de inundação, o PRP incorpora em toda a sua extensão, a função das lagoas marginais do rio São Francisco.

A figura 54 ilustra o mapa da bacia hidrográfica do rio São Francisco e os principais afluentes responsáveis pela formação dos pulsos de inundação do rio São Francisco na foz do rio Pandeiros e a localização da barragem da UHE de Três Marias.

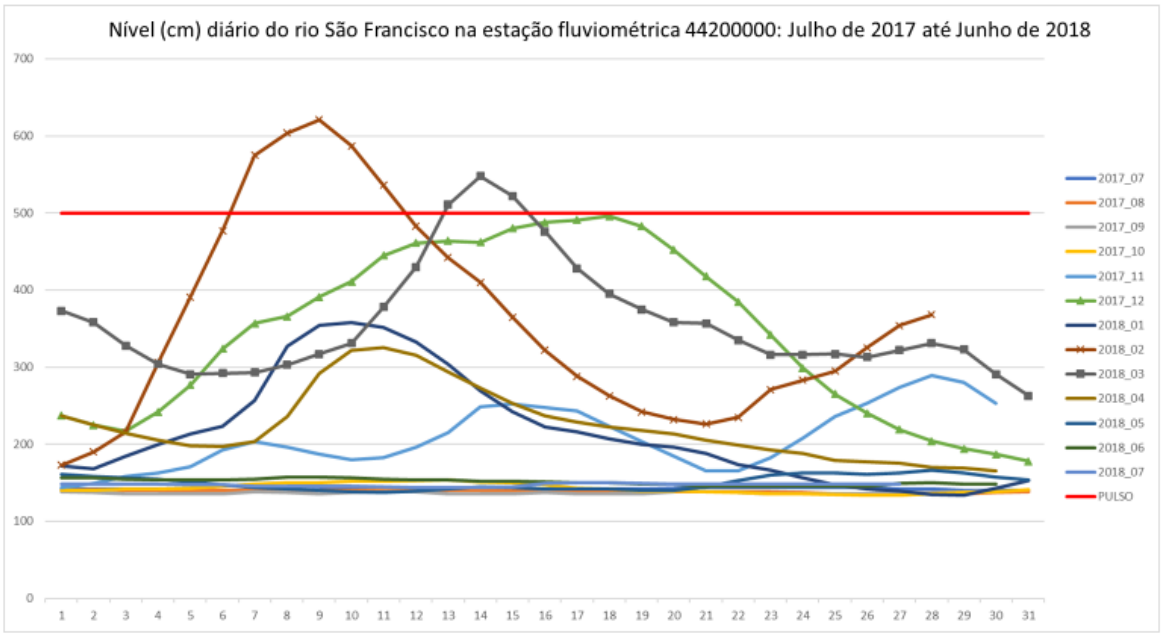
Figura 54 - Mapa das bacias hidrográficas dos principais afluentes do rio São Francisco e do rio Pandeiros.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 55 mostra episódios de inundação que ocorreram no período de julho de 2017 até julho de 2018, sendo três no início de fevereiro, outro na metade de março (estes dois verificados com visita a campo) e um pequeno no início da 2ª quinzena de dezembro/2017.

Figura 55 - Pulsos de inundação ocorridos no PRP entre julho de 2017 a junho de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As fotografias tiradas durante o trabalho de campo realizado neste período (Figura 56) mostra a cor da água indicativa dos diferentes estágios dos pulsos de inundação:

cor marrom: águas do rio São Francisco,

cor incolor: águas limpas de sedimentos pelo PRP.

Figura 56 - Fotografias do PRP, durante os pulsos de inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A partir da realização destes trabalhos de campo, seu registro fotográfico e pesquisa da cota das águas do rio São Francisco no dia de início da inundação, conforme registrado no trabalho de campo realizado em 14 de março de 2018 (Figuras 55 e 56), foi feito, a partir dos dados das estações fluviométricas situadas no rio São Francisco, uma filtragem dos valores acima de 500 cm, e uma reconstrução, com base nas datas respectivas, dos possíveis cenários de pulsos de inundação que ocorreram desde o ano hidrológico de 1926 até 2018 (Quadro 16 e Figuras 57 e 58. Estas interpretações são confrontadas com os dados dos piezômetros e por meio de imagens de satélite nos tópicos seguintes deste capítulo de resultados.

Quadro 16 - Valores de nível (em cm) do rio São Francisco na estação 44200000 durante julho de 2017 até julho de 2018.

	Dia																													
Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2017_07	142	142	142	142	140	140	140	140	141	142	143	143	142	142	142	142	142	142	142	143	144	144	144	144	144	144	142	142	140	140	140
2017_08	140	141	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	139	139	139	138	138	138	138	137	136	136	136	136	136	137	138
2017_09	138	137	136	136	136	136	138	137	136	137	138	138	136	136	136	137	136	136	136	138		137	136	136	136	136	137	137	138	139	
2017_10	140	140	142	142	143	146	148	150	150	152	152	153	154	151	150	147	143	142	139	139	138	137	136	136	135	134	134	136	137	138	141
2017_11	144	149	158	163	171	193	203	196	187	180	183	196	215	249	252	248	243	223	203	184	165	165	183	208	236	253	274	289	280	253	
2017_12	237	225	217	242	277	324	357	366	391	411	445	461	464	462	480	488	491	496	483	452	418	385	342	299	265	240	219	204	194	187	178
2018_01	172	168	184	200	213	223	257	327	354	358	352	333	304	269	242	222	216	207	200	196	188	174	166	156	147	142	139	135	134	143	153
2018_02	173	190	216	306	391	477	575	604	621	587	536	483	442	410	365	322	288	263	242	232	226	235	271	283	295	325	354	368			
2018_03	373	358	328	304	291	292	293	303	317	331	378	430	511	548	522	476	428	395	375	358	357	335	316	316	317	313	322	331	323	291	263
2018_04	237	225	214	205	198	197	203	236	292	322	325	315	294	273	253	237	229	222	218	213	205	199	193	188	179	177	175	170	169	165	
2018_05	161	158	156	155	151	147	144	142	140	138	137	139	142	145	144	142	142	142	140	140	145	153	160	163	163	161	163	166	163	157	154
2018_06	156	156	155	154	154	154	155	157	157	156	155	154	154	152	152	151	150	150	148	148	146	146	146	146	146	146	149	150	148	148	
2018_07	148	148	148	148	147	147	146	146	146	146	145	144	144	144	145	149	150	150	149	148	148	148	148	148	148	148	148				

Os dias destacados em amarelo e vermelho são datas em que deve ter ocorrido a inundação. Os dias destacados em negrito são os que ocorreram visitas.
Fonte: ANA, 2018.

A partir da informação de que acima de 500 cm o PRP começa a ser inundado (Quadro 16), foi aplicado um filtro sobre os valores de nível do rio São Francisco nas estações de São Francisco (Figura 57) e Pedras de Maria da Cruz (Figura 58). Os resultados indicam a quantidade de dias por ano em que o PRP poderia estar inundado.

Os maiores valores encontrados são os da década de 1920, mais especificamente durante 178 dias em 1926 e na década de 1980, durante 176 dias de 1982, quando a *wetland* ficou inundada durante metade do ano. Os menores valores ocorreram nos anos de 1971, com 13 dias de inundação, em 1976, com 6 dias de inundação e em 2015, com apenas 1 dia de inundação no ano, confirmando os demais dados de redução drástica do nível do rio São Francisco nos últimos anos (Figuras 57 e 58). Os dados da estação de Pedras de Maria da Cruz também têm resposta similar, mesmo havendo uma diferença de 3 metros de altitude entre as duas estações e as configurações do canal de drenagem serem diferentes.

A média linear nas duas estações indica uma permanente redução dos dias de inundação do PRP durante todo o intervalo de dados existente. Em todos os demais anos da série de dados, com exceção dos anos mencionados acima, a *wetland* esteve inundada por mais de 20 dias.

Ao se considerar o nível de 500 cm como o início das condições de inundação da *wetland*, percebe-se, pela análise dos dados de percentil das estações fluviométricas e com base no intervalo de dados existente, que apenas em 20% do tempo, o rio São Francisco atinge esta cota (Figura 49). Foi feita então uma correlação entre os 20% de dados que apresentam maior elevação de nível e de vazão, a fim de normalizar os valores e analisar a contribuição e correlação da vazão do rio Pandeiros para os pulsos de inundação no PRP (Figura 59).

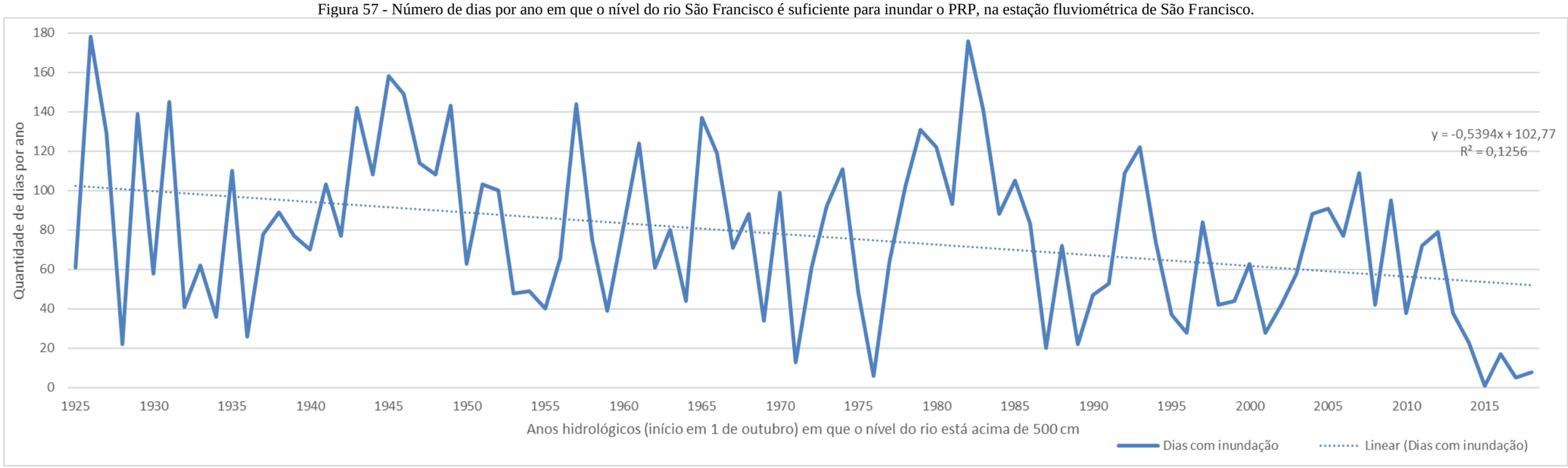
Pela análise destes dados é possível reconhecer, no período analisado, algum grau de dependência entre a quantidade de água disponível na bacia do rio Pandeiros e a do rio São Francisco para os anos mais secos e mais úmidos. Normalmente, nos anos nos quais os valores em que existe mais umidade nas duas regiões, o número de dias em que o PRP está inundado também aumenta. Igualmente, nos anos em que o nível do rio São Francisco são os mais baixos, há uma redução significativa do número de dias em que o PRP é alagado, como se pode ser verificado em 1975, 1994 e o período 2015 a 2017 (Figura 59).

A razão da recente redução da vazão na bacia do rio Pandeiros e do nível do rio São Francisco pode estar vinculada a uma redução da precipitação anual nas suas respectivas áreas, mas também a uma redução das áreas de recarga superficial e subsuperficial de água, como as veredas e olhos d'água. Elas representam as maiores categorias de *wetlands* na bacia do rio São Francisco, mas têm sido destruídas nas áreas nas bacias dos principais afluentes do rio São

Francisco à montante do rio Pandeiros – como o rio das Velhas, Urucuia, Paracatu e mesmo na própria bacia do rio Pandeiros, onde ocorre intenso processo de assoreamento de várias veredas assim como a sua drenagem (AUGUSTIN *et al*, 2009; NEVES, 2014). Estas áreas úmidas, apesar de serem pequenas em extensão, ocorrem com alta frequência ao longo das bacias hidrográficas desta região. Assim, consideradas em conjunto, podem ter um papel importante na disponibilidade de recursos hídricos para os grandes rios da bacia do rio São Francisco.

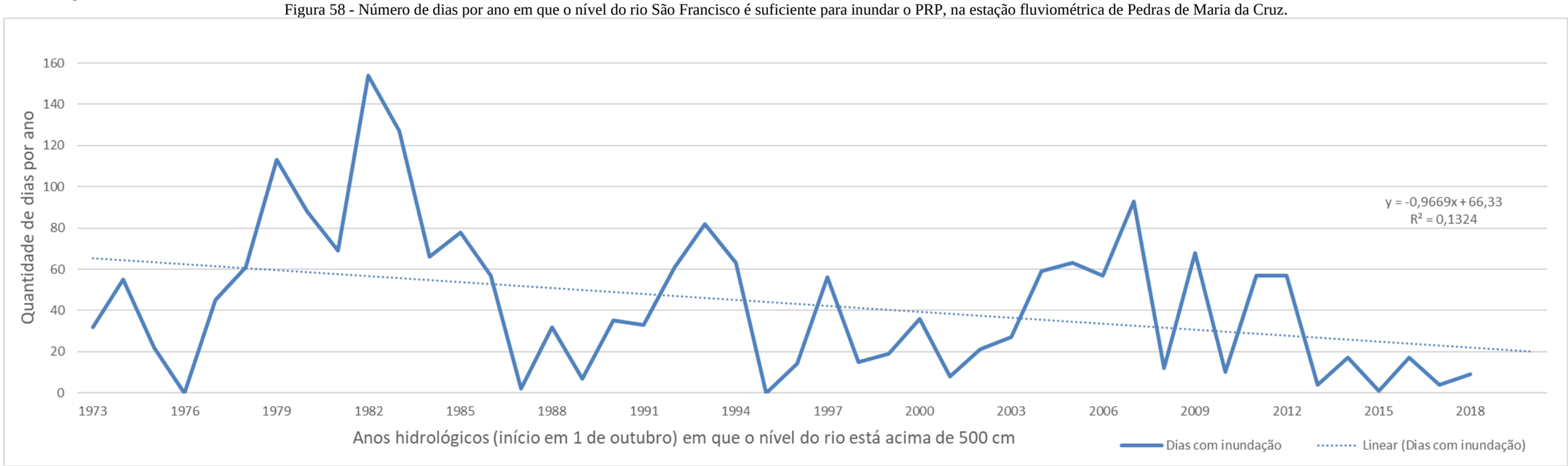
Percebe-se, portanto, uma forte correlação entre aumento do nível da água do rio Pandeiros com o do nível do rio São Francisco, indicando que as condições para a inundação do PRP são dependentes do regime hidrológico destas duas bacias (Figura 59).

Figura 57 - Número de dias por ano em que o nível do rio São Francisco é suficiente para inundar o PRP, na estação fluviométrica de São Francisco.



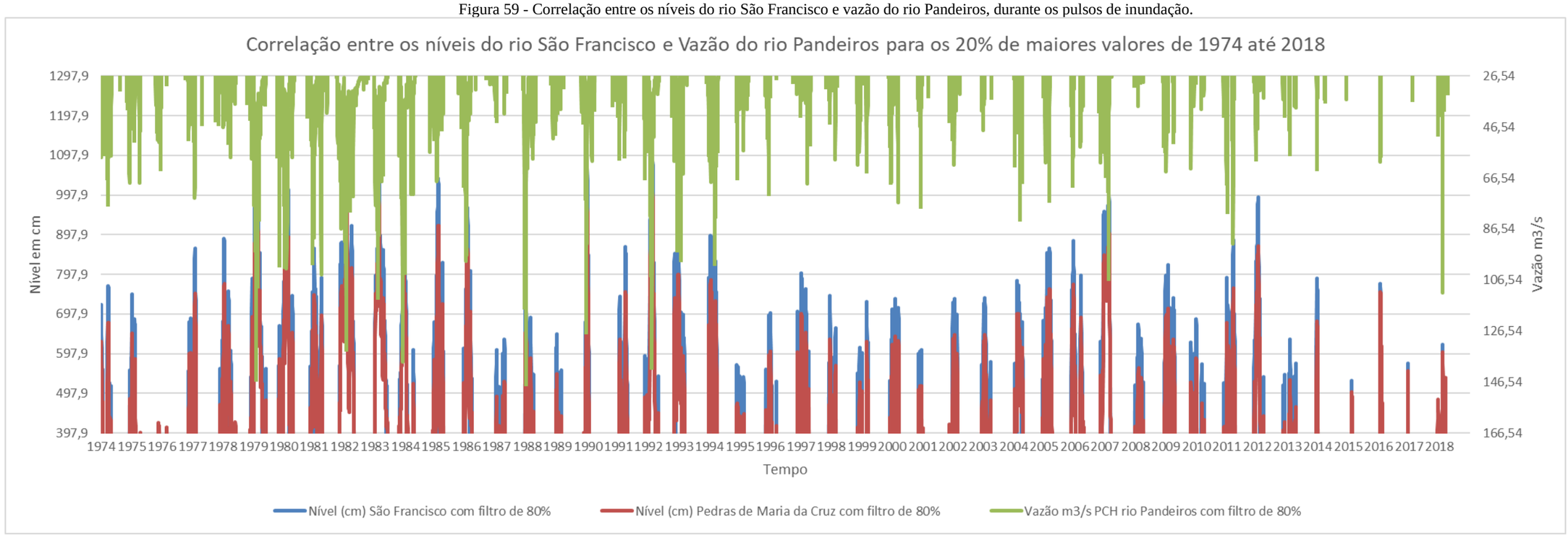
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 58 - Número de dias por ano em que o nível do rio São Francisco é suficiente para inundar o PRP, na estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

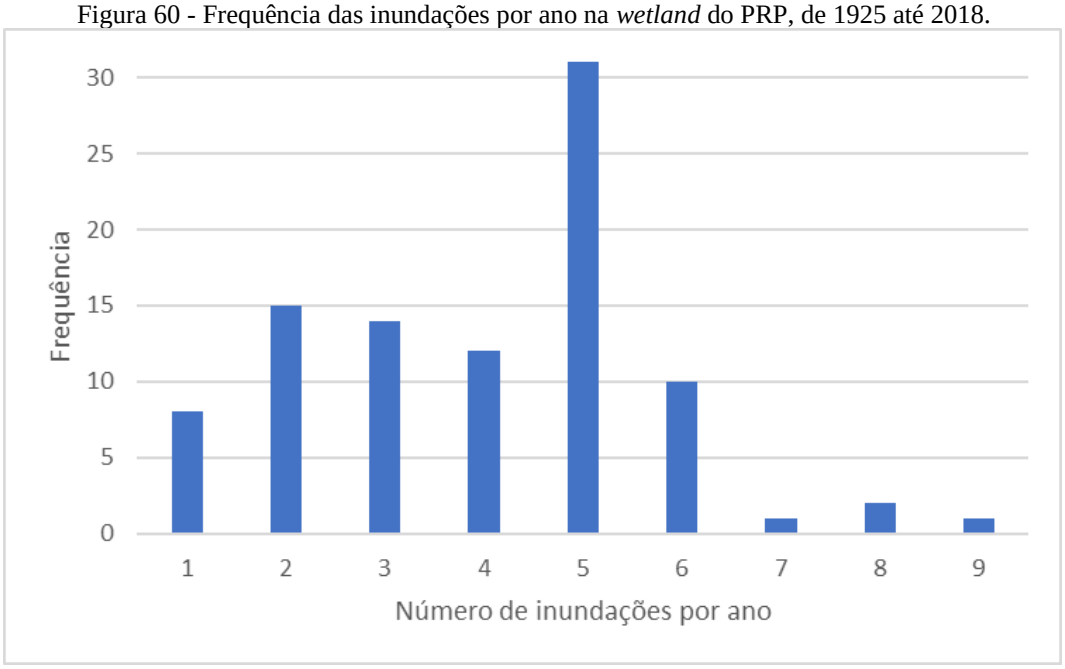
Figura 59 - Correlação entre os níveis do rio São Francisco e vazão do rio Pandeiros, durante os pulsos de inundação.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Como o PRP está localizado em uma área do interior continental e sua fonte de umidade depende da precipitação, que por sua vez irá gerar os pulsos de inundação nos rios São Francisco e Pandeiros, foi analisada a frequência com que estes ocorriam, o que é uma característica deste tipo de *wetland*, ter mais de 1 ciclo de inundação por ano hidrológico (Figura 60). É possível observar no gráfico desta figura que a maior frequência é de 5 episódios de inundação por ano, sendo comum a ocorrência de 2, 3, 4 e até 6 inundações por ano; da mesma maneira, são raros os anos com 1, 7, 8 e 9 episódios de inundação por ano ocorrendo menos de 5 vezes ao longo da série de dados.

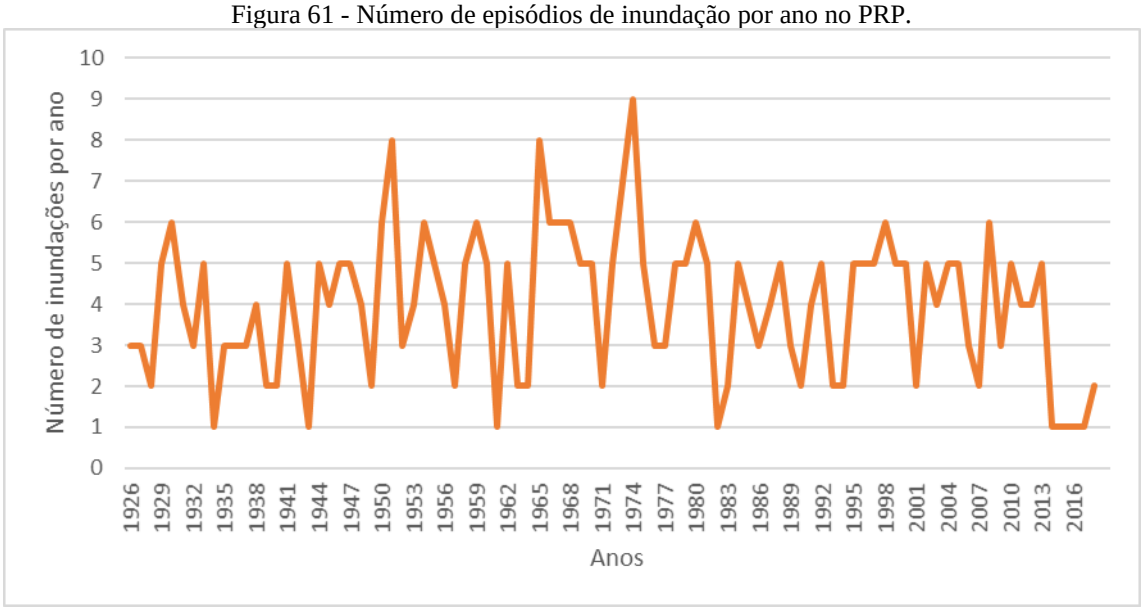
Figura 60 - Frequência das inundações por ano na *wetland* do PRP, de 1925 até 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A Figura 61 mostra o gráfico com o número de episódios de inundação por ano na *wetland*, sendo em 1974 o ano em que ocorreram 9 pulsos de inundação, seguido pelos anos de 1951 e 1965, com 8 pulsos de inundação cada um. Em vários anos (1934, 1943, 1961, 1982, 2014, 2015, 2016 e 2017) ocorreu apenas 1 pulso de inundação por ano, com duração e magnitude diferentes. A maior sequência de anos com apenas 1 episódio de inundação por ano continua sendo a partir de 2014, com 4 anos consecutivos.

Figura 61 - Número de episódios de inundação por ano no PRP.



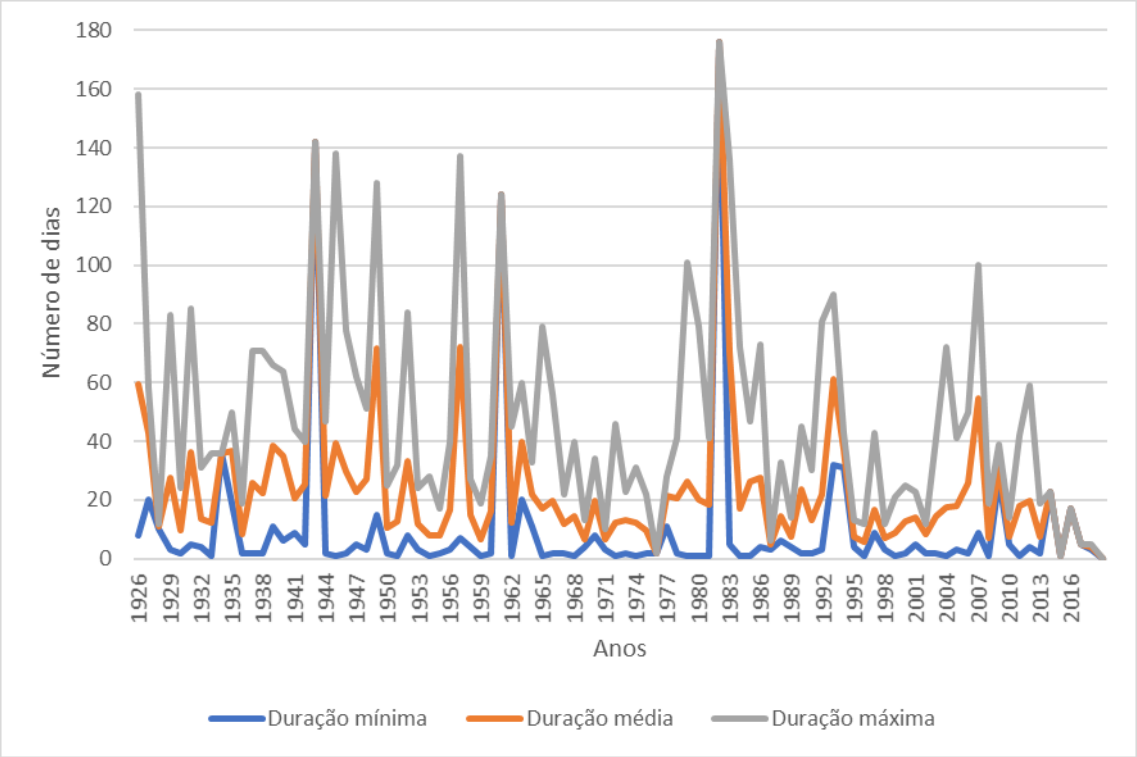
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Além da frequência polimodal que caracteriza as *wetlands* continentais incluindo o PRP, a duração de cada episódio é muito diferente uma da outra. A análise da duração média dos pulsos de inundação por ano, classificadas em média das mínimas, média das médias e média das máximas durações que ocorreram em cada ano do intervalo de dados analisado, pode ser vista na figura 62. A duração mínima varia de 1 a 176 dias, com uma média de 10,17 dias, representando uma enorme variabilidade, a depender da quantidade de pulsos durante o ano. Como comentado anteriormente, pode ocorrer um pulso de inundação com duração de 1 dia (como em 2015), ou outro, com duração de 176 dias (como em 1982).

A duração média é de 24,9 dias e a duração média máxima de 48,59 dias. Desde a inundação de 1982, os valores de duração máxima vêm apresentando redução, especialmente a partir de 2013 (Figura 62). Como a condição para ocorrer a inundação é o aumento do nível do rio São Francisco, pode ter ocorrido, principalmente a partir da década de 2010, uma influência da operação da represa de Três Marias sobre o controle da vazão mínima liberada pela usina hidrelétrica, visando garantir a produção de energia e a operação das usinas a jusante, no nordeste brasileiro. Esta baixa vazão pode influenciar uma redução geral no nível do rio São Francisco, a qual somada a uma redução generalizada da precipitação distribuída nas bacias hidrográficas analisadas, mesmo durante a ocorrência de monções, provoca o baixíssimo nível do rio São Francisco. Outro fator que pode ter contribuído com isto, pode ser a degradação cada vez maior das áreas úmidas situadas a montante do PRP, nas duas bacias hidrográficas, o que

pode ter prejudicado o armazenamento de água durante a estação úmida e a consequente liberação deste volume de água durante a estação seca, pois esta não estava disponível.

Figura 62 - Duração mínima, média e máxima, por ano, dos pulsos de inundação no PRP.

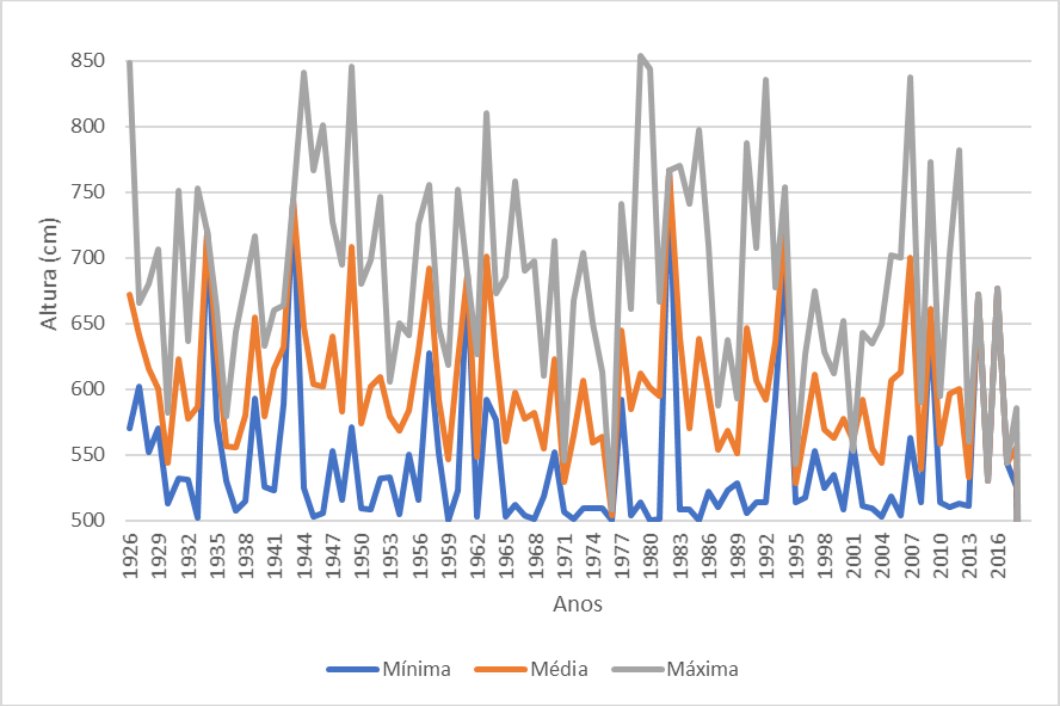


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Além da análise da frequência e da duração, foi realizada também a análise da magnitude média (máxima, média e mínima) por ano dos pulsos de inundação que ocorreram (Figura 63). Novamente, é possível observar uma grande variabilidade de comportamento, com a média das mínimas de 577,41 cm e a máxima de 1.125 cm, enquanto a magnitude média mínima foi de 504,33 cm e a magnitude média das médias foi de 689,61 cm.

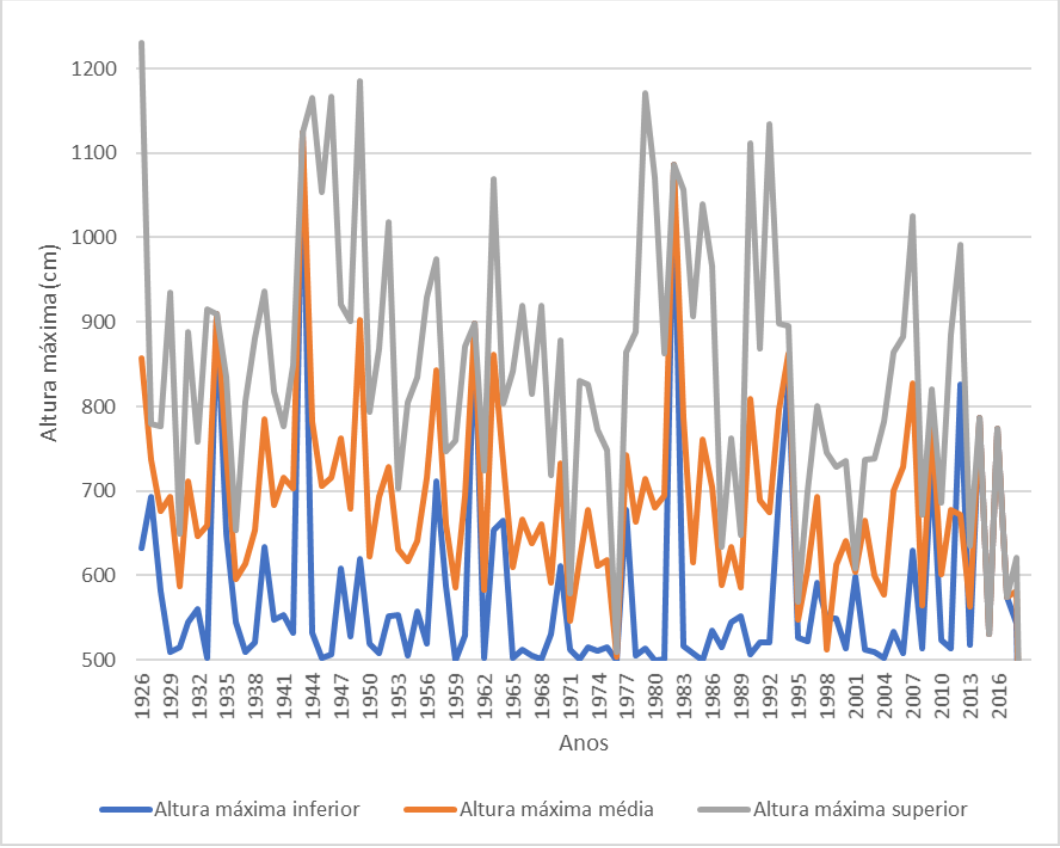
Os valores de magnitude máxima tiveram uma média mínima de 510 cm, uma média das máximas de 849,52 cm e a máxima das máximas de 1.230 cm. Os eventos de maior magnitude, acima de 1.000 cm ocorreram nos anos de 1926, 1949, 1979, 1946, 1944, 1992, 1943, 1990, 1982, 1980, 1963, 1983, 1945, 1985, 1925, 2007, 1952, respectivamente do maior para o menor valor de magnitude, caracterizando alguns períodos com maior recorrência como: 1925-1926, 1943-1946, 1979-1985 e 1990-1992 (Figura 64). Os anos com menor magnitude máxima foram 1976, 2015, 1995, 2017 e 1971, respectivamente do menor valor (510 cm) até o maior (579 cm) (Figura 64).

Figura 63 - Magnitudes médias dos pulsos de inundação no PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 64 - Distribuição das magnitudes máximas por ano no PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Por fim, os pulsos de inundação foram classificados conforme sua intensidade (Quadro 17). A chave de classificação foi definida a partir da diferença entre a magnitude mínima para existência da inundação, neste caso, 500 cm e o valor da magnitude média máxima que ocorreu no ano. Os valores foram classificados em intensidade baixa, quando a diferença for menor do que 250 cm; intensidade média, quando a diferença for entre 250 cm até 490 cm; e intensidade alta, quando a diferença for maior do que 490 cm, tendo valor maior de 730 cm.

Quadro 17 - Intensidade dos pulsos de inundação no PRP de 1925 até 2018.

Ano	Intensidade	Ano	Intensidade	Ano	Intensidade	Ano	Intensidade	Ano	Intensidade
1925	526	1946	667	1967	315	1988	263	2009	321
1926	730	1947	421	1968	420	1989	148	2010	186
1927	280	1948	401	1969	218	1990	611	2011	385
1928	277	1949	685	1970	378	1991	368	2012	492
1929	435	1950	293	1971	79	1992	635	2013	135
1930	150	1951	369	1972	331	1993	398	2014	287
1931	388	1952	519	1973	326	1994	396	2015	30
1932	258	1953	203	1974	273	1995	69	2016	274
1933	415	1954	305	1975	248	1996	200	2017	74
1934	409	1955	335	1976	10	1997	301	2018	121
1935	334	1956	429	1977	364	1998	245		
1936	154	1957	474	1978	388	1999	229		
1937	306	1958	247	1979	671	2000	236	Legenda Intensidade	
1938	381	1959	259	1980	570	2001	108		Baixa
1939	437	1960	371	1981	363	2002	237		Média
1940	318	1961	398	1982	586	2003	239		Alta
1941	276	1962	224	1983	557	2004	282		
1942	348	1963	569	1984	406	2005	364		
1943	625	1964	303	1985	539	2006	382		
1944	665	1965	342	1986	466	2007	525		
1945	554	1966	420	1987	134	2008	172		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Percebe-se pelo quadro 17, que ao longo do tempo tem ocorrido uma redução da ocorrência de episódios de inundação com alta e média intensidade, que eram recorrentes até a década de 1980, e um aumento das inundações de baixa intensidade, cada vez mais frequentes.

Após a caracterização das unidades geomorfológicas da bacia do rio Pandeiros, a contribuição de sedimentos considerada na escala espacial e temporal apresentada, além da caracterização da vazão do rio Pandeiros a montante, bem como na foz do PRP, a identificação do seu nível e os pulsos de inundação que nele ocorrem, foi realizada análise física e química

da água, buscando identificar suas principais propriedades, bem como a assinatura específica de cada rio em cada subunidade do PRP, durante as estações úmida, seca e os pulsos de inundação.

5.2.6. Análise das características físicas e químicas da água na bacia do rio Pandeiros, no PRP e na foz do rio São Francisco

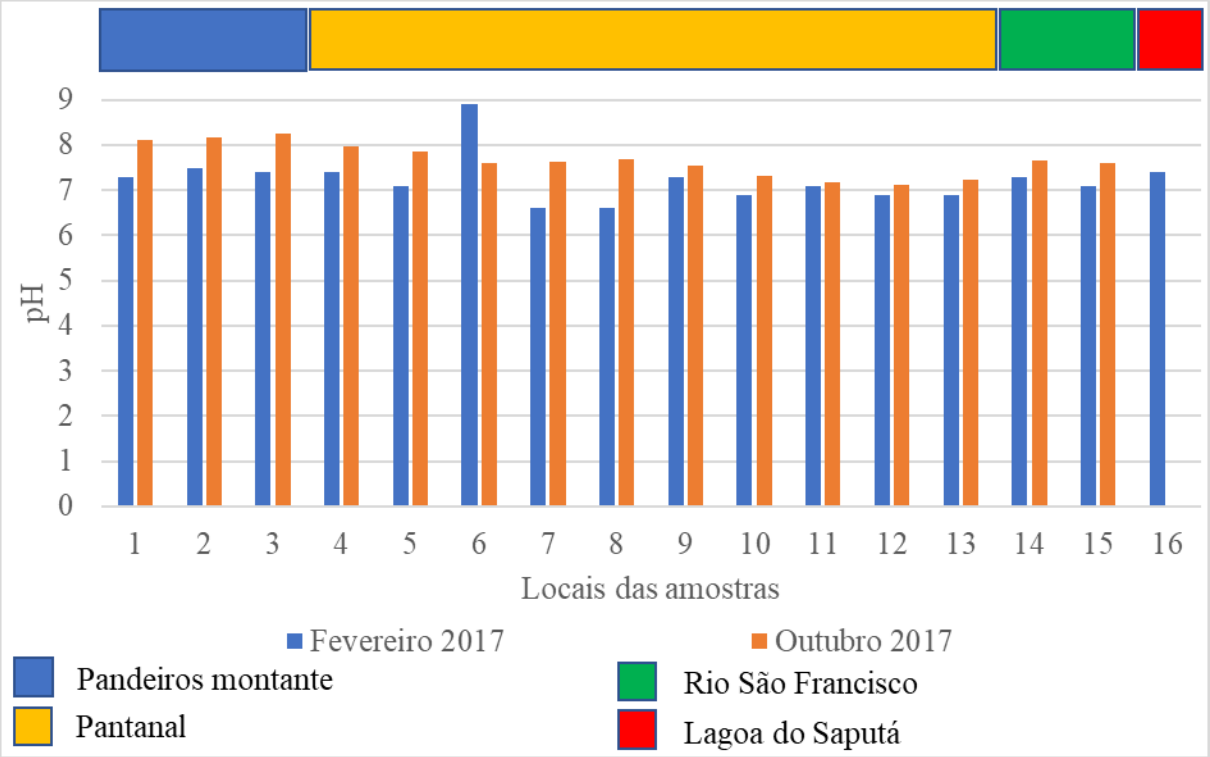
A análise da água dos rios na área de estudo visa caracterizar a dinâmica do fluxo hídrico que existe no PRP a fim de, juntamente com a análise das formas e dos materiais das vertentes e da planície de inundação, obter uma resposta sobre quais influências do regime hidrogeomorfológico a *wetland* está submetida.

Esta abordagem envolveu o emprego de várias técnicas, buscando-se, em um primeiro momento, caracterizar os atributos físicos e químicos da água e dos sólidos dissolvidos que circulam pelo PRP. Para cumprir este objetivo foram realizadas coletas e análises da água em dois momentos do ciclo hidrológico: durante a estação chuvosa de 2017 e durante o auge da estação seca de 2017. Também foram analisadas as composições isotópicas da água do PRP durante os episódios de pulsos de inundação, sendo realizadas coletas em fevereiro de 2018, três dias após o início da inundação, e em março de 2018, quando se iniciava um pulso de inundação do rio São Francisco, causando a inundação do PRP, por meio do refluxo das águas do rio São Francisco. Foi realizado também o monitoramento do nível da água no PRP, com o uso de piezômetros que armazenaram os dados em *dataloggers* cujos resultados detalhados estão no tópico 5.2.9.

A importância desta abordagem é a de buscar elementos para entender como ocorre a dinâmica de inundação e circulação da água no PRP e qual a influência dos rios Pandeiros e São Francisco neste processo, bem como o regime hidrológico nos momentos de cheia e de seca formam a *wetland* do PRP, questões levantadas nas hipóteses da tese.

A Figura 65 apresenta os valores de pH da água na área de estudo, sendo o menor valor de 6,6 obtido na estação úmida e 7,1, na estação seca. Os valores máximos são de 8,9, na estação úmida e 8,3 na estação seca. O valor médio é de 7,2 em fevereiro e de 7,6, em outubro. As amostras 1 a 3 são do rio Pandeiros, com valores médios de 7,4 e 8,2 durante a estação úmida e a estação seca respectivamente. As amostras 4 a 12, que representam o PRP, apresentaram média de 7,2 e 7,5, respectivamente, enquanto as amostras 13 a 15 do rio São Francisco, possuem média de 7,2 e 7,6, respectivamente.

Figura 65 - Valores de pH das amostras da bacia do rio Pandeiros, PRP e foz no rio São Francisco em 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

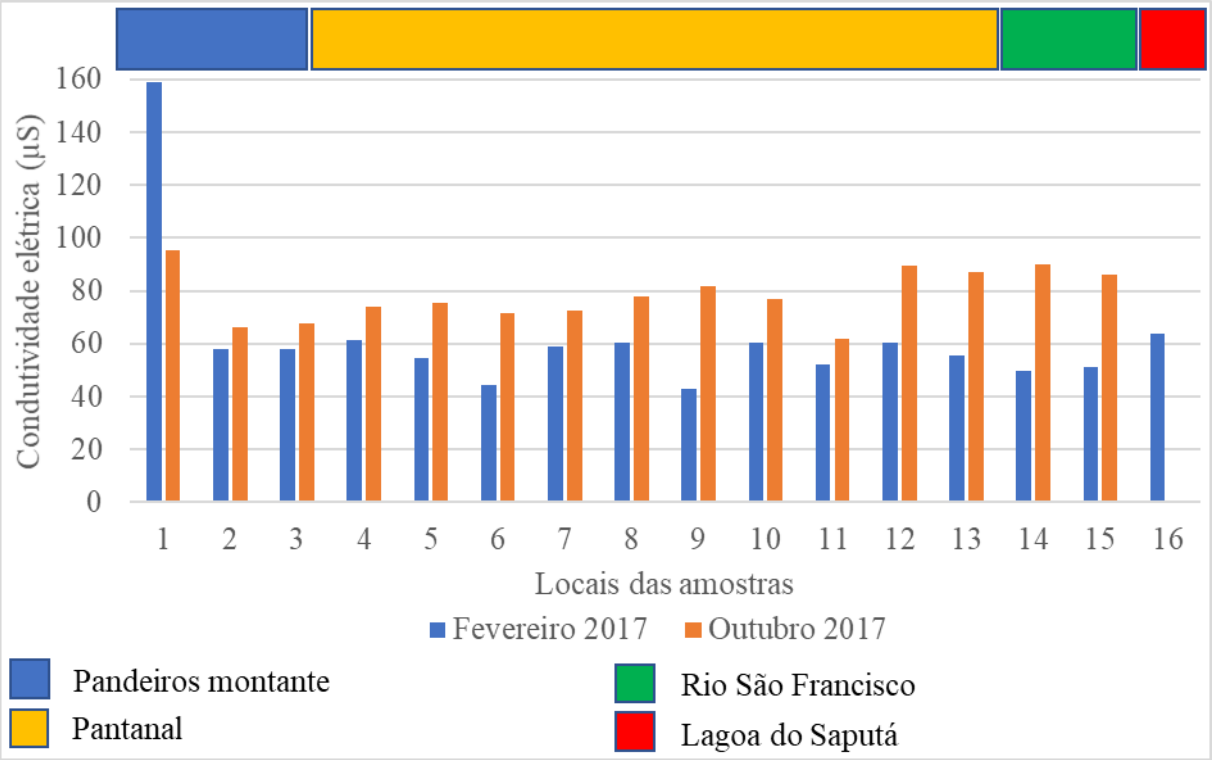
As amostras do rio Pandeiros possuem, portanto, em média, valor mais elevado de pH, enquanto os valores das amostras do PRP e do rio São Francisco são muito semelhantes ao longo do ano (Figura 65). Possivelmente os valores mais elevados de pH das amostras do período seco ocorrem em virtude da menor dissolução de cálcio e magnésio neste período do ano.

Na área do PRP, durante a estação úmida, observa-se uma variação muito alta de pH (Figura 65). Nos pontos 4 e 5 a montante da *wetland*, por exemplo, os valores foram correspondentes aos da média da bacia; contudo, no ponto 6, localizado na subunidade P2 do PRP, o valor registrado foi de 8,9, o que pode indicar presença de rochas calcárias na região, ou o afloramento de algum sistema cárstico, já que, conforme o mapa geológico descritivo da área do PRP e checagem de campo, estas rochas têm afloramento neste local e contato com sedimentos aluvionares nesta área.

Nas subunidades P3 e P4 do PRP, os valores de pH tendem a baixar, talvez pela mistura da água com os fluxos oriundos das lagoas e meandros abandonados, que trazem os ácidos provenientes da decomposição da MO acumulada. Contudo, a simples análise do pH não permite diferenciar completamente as águas provenientes da bacia do rio Pandeiros das águas do rio São Francisco.

Na Figura 66 são apresentados os valores obtidos na análise da CE. Este parâmetro apresenta um comportamento homogêneo durante a estação úmida, com exceção do ponto 1, no alto curso do rio Pandeiros, que possui um valor extremamente elevado, de 159 µS, refletindo a água de descarga do aquífero carbonático. Contudo, durante a estação seca, os valores têm comportamento mais heterogêneo ao longo da bacia.

Figura 66 - Valores de CE das amostras da bacia do rio Pandeiros, PRP e foz no rio São Francisco em 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os valores médios das amostras são de 61,8 µS em fevereiro e de 78,3µS em outubro (Figura 66). As amostras do rio Pandeiros (amostras 1 a 3) possuem média de 91,6 µS na estação úmida e de 76,4 µS na seca. Já os valores encontrados na área do PRP (amostras de 4 a 12) registram valores, em média, de 55 µS para a estação úmida e de 75,8 µS para a seca. Por fim, os valores das amostras do rio São Francisco são de 50,4 µS em fevereiro e de 88 µS em outubro. A amostra 16, da Lagoa do Saputá, registrou um valor alto, de 64 µS, quando comparado ao do PRP e ao do rio São Francisco durante a estação úmida.

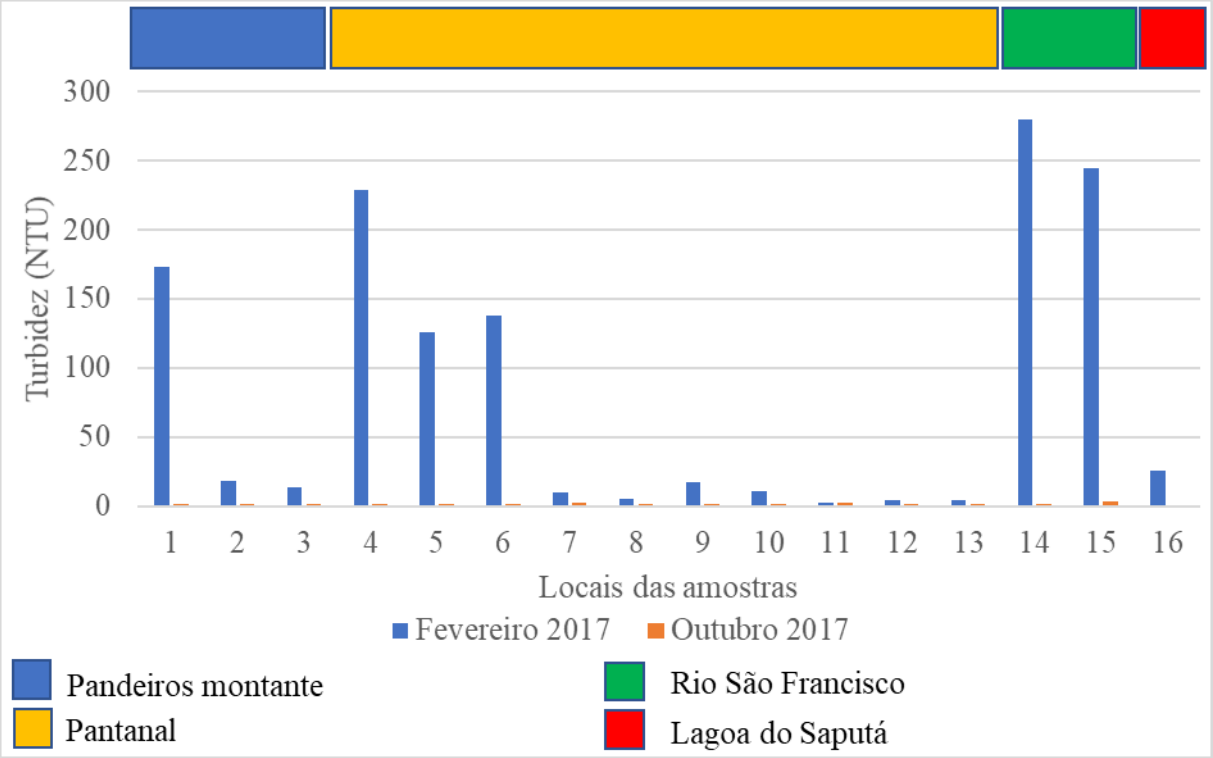
Durante a estação seca (Figura 66), os valores apresentam-se mais elevados na foz do rio Pandeiros (amostras 12 e 13) e no rio São Francisco, com valores próximos da amostra 1, que na estação úmida, apresentou o maior valor. No médio curso da bacia do rio Pandeiros

(amostras 2 e 3) os valores são menores, semelhantes aos da amostra 11 no PRP, que durante todo o período apresentou os menores valores.

De todos os parâmetros avaliados, a turbidez representou um bom parâmetro de diferenciação dos diferentes ambientes amostrados da água, além ter indicado fontes de contribuição de sedimentos em solução nas águas dos rios Pandeiros e São Francisco durante a estação úmida (Figura 67). Os valores correspondentes à estação seca são praticamente desprezíveis, quando comparados com as amostras coletadas em fevereiro, demonstrando a importância da umidade representada, neste caso, pelos pulsos de inundação, para o transporte de sedimentos.

As amostras do rio São Francisco apresentam os maiores valores, acima de 245 NTU, enquanto na bacia do rio Pandeiros, fica evidente a contribuição de duas diferentes regiões do aporte de sedimentos que chega ao PRP, como indicado por Lima (2019). Elas correspondem às amostras do alto curso (amostra 1) e das subunidades P1 e P2 do PRP (amostras 4, 5 e 6), que se encontram localizadas próximas às áreas de atuação de processos erosivos hídricos acelerados, na forma de voçorocas. Na subunidade P3, os valores de turbidez são mínimos, inferiores a 20 NTU, demonstrando a capacidade de realização de serviços ambientais, como a retenção de sedimentos, prestada pelas *wetlands*.

Figura 67 - Valores de turbidez das amostras da bacia do rio Pandeiros, do PRP e da foz no rio São Francisco em 2017.

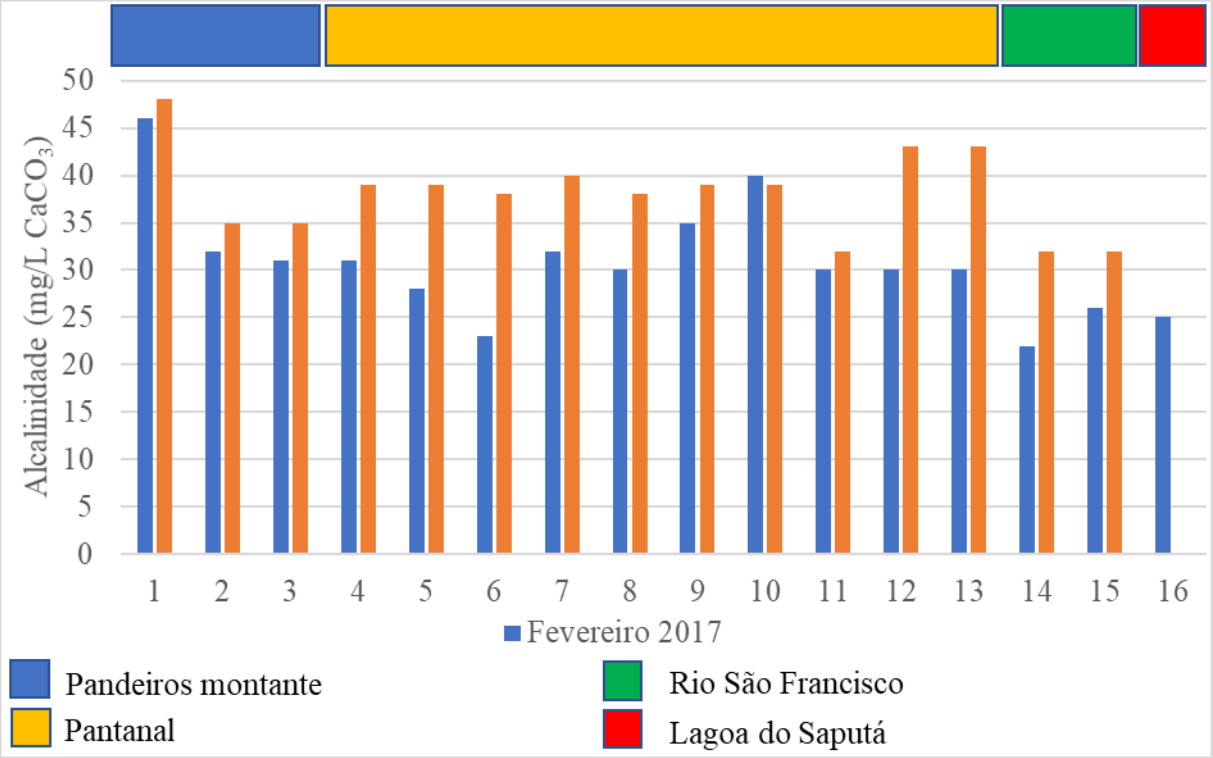


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A alcalinidade, que é um bom indicador da presença de carbonatos e bicarbonatos, tem uma distribuição na área de estudo semelhante à da CE (Figura 68). O maior valor é o do ponto 1, no alto curso do rio Pandeiros, o que pode indicar proveniência de rochas carbonáticas da região. A média de todas as amostras é de 31 mg/L $CaCO_3$ e 38 mg/L $CaCO_3$ para as estações úmida e seca, respectivamente.

Na bacia do rio Pandeiros, os valores médios são de 36,3 mg/L $CaCO_3$ para fevereiro e de 39,3 mg/L $CaCO_3$, para outubro. No PRP, ou seja, correspondente à média de todas as amostras, a média é de 31 mg/L $CaCO_3$ em fevereiro e de 38,5 mg/L $CaCO_3$, em outubro. No rio São Francisco, a média é de 24 mg/L $CaCO_3$ para fevereiro e de 32 mg/L $CaCO_3$para outubro, os valores mais baixos encontrados na área amostrada.

Figura 68 - Valores de alcalinidade das amostras da bacia do rio Pandeiros, do PRP e da foz no rio São Francisco em 2017.



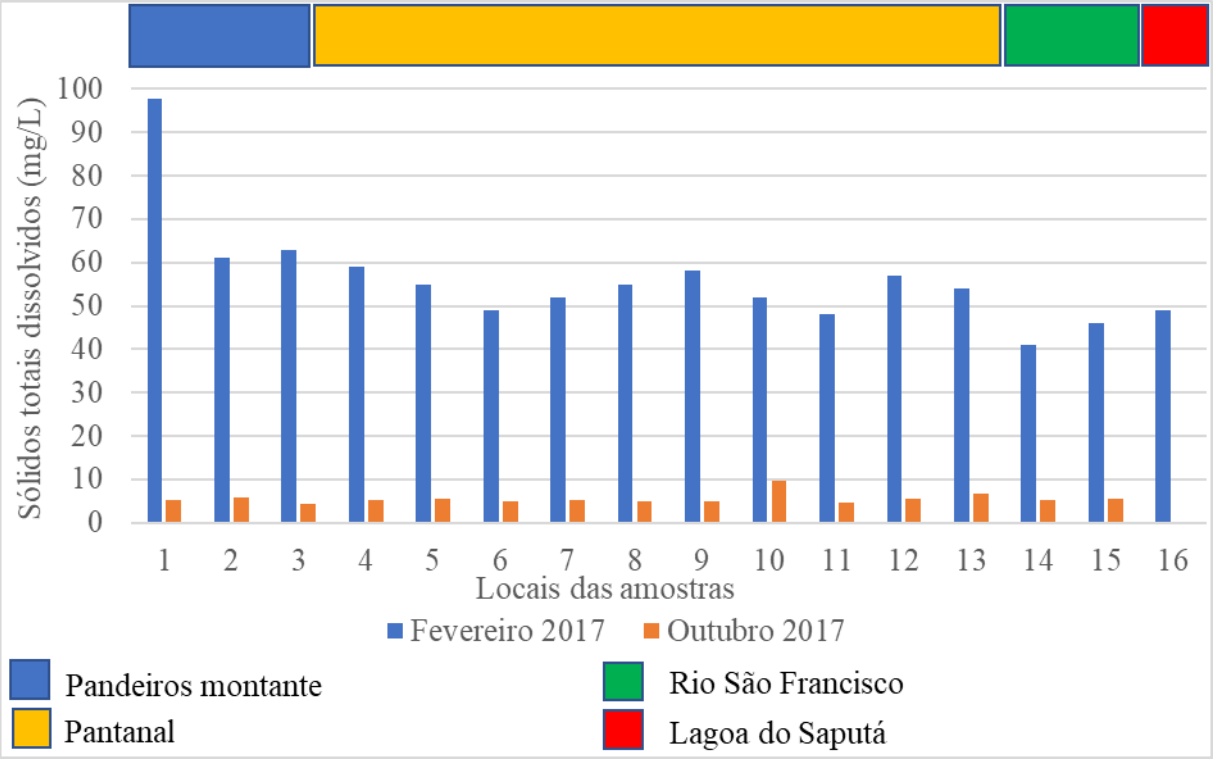
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Foram detectadas diferenças significativas entre as amostras dos sólidos totais dissolvidos (Figura 69) coletados na estação seca (média de 56,5 mg/L) e na estação úmida (média de 5,5 mg/L). Os valores mais elevados ocorrem na bacia do rio Pandeiros (amostras 1 a 3), com altíssimo valor da amostra 1, coletada durante a estação úmida, o que pode indicar uma influência geológica.

A média da bacia do rio Pandeiros, durante a estação úmida é de 73,9 mg/L, e na estação seca é de 5,03 mg/L, enquanto na área do PRP, os valores médios são de 53,8 mg/L em fevereiro e de 5,58 mg/L em outubro. Já no ambiente do rio São Francisco, a média é de 43,5 mg/L na estação úmida e 5,25 mg/L durante a estação seca.

É possível detectar que ocorre uma inversão dos maiores valores durante as estações, com a maior média obtida em fevereiro no rio Pandeiros e o valor mais elevado, em outubro, na *wetland*.

Figura 69 - Valores dos sólidos totais dissolvidos das amostras da bacia do rio Pandeiros, do PRP e da foz no rio São Francisco em 2017.

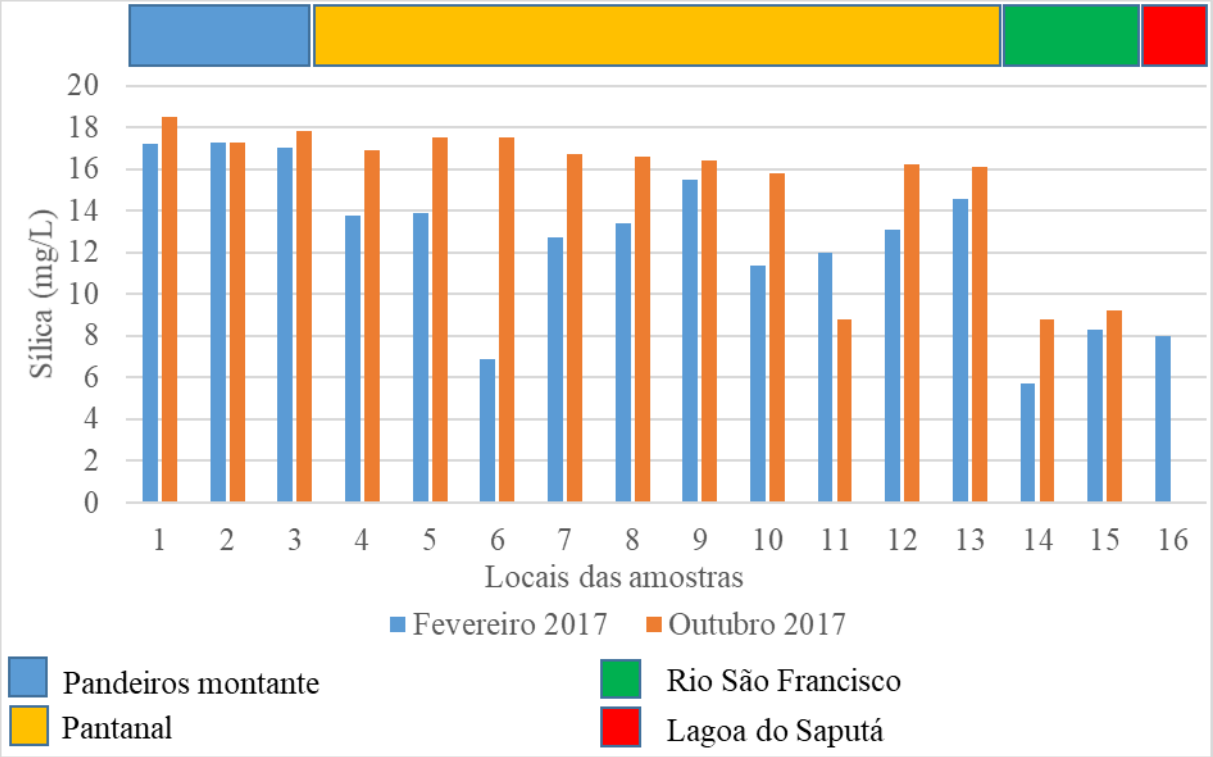


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O melhor indicador para discriminar as águas dos três ambientes hídricos analisados (bacia do rio Pandeiros, Pantanal do rio Pandeiros e rio São Francisco, próximo à foz do rio Pandeiros) foi o parâmetro sílica (Figura 70). Os valores médios para todas as amostras, durante o ano, são similares, com média de 12 mg/L para fevereiro e 15 mg/L para outubro.

Na bacia do rio Pandeiros, que em sua maior parte é formada por rochas siliciclásticas, a média de 17 mg/L foi a mais elevada e constante ao longo do ano (2017). No PRP, a média foi de 12,5 mg/L e 15,8 mg/L para as estações úmida e seca, respectivamente. No ambiente do rio São Francisco, os valores foram bem mais baixos, sendo de 7 mg/L em fevereiro e 9 mg/L em outubro. Duas exceções foram os pontos 6 (provavelmente influenciado por rocha carbonática, com baixo teor de sílica) e 16, os quais, mesmo estando na bacia do rio Pandeiros, registraram baixos valores de sílica.

Figura 70 - Valores de sílica das amostras da bacia do rio Pandeiros, PRP e foz no rio São Francisco em 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As mesmas amostras de água ainda foram analisadas no ICP-OES e os resultados estão apresentados nas Figuras 71 e 72. Para as amostras coletadas durante a estação úmida, em fevereiro de 2017, apenas o Mg e Ca estavam presentes acima do limite de detecção do instrumento para todas as amostras. Os elementos Al, Fe e Ti foram registrados apenas em algumas amostras.

Nas amostras da estação úmida (Figura 71), os valores médios de Mg são de 2,1 ppm e para o Ca, de 5,27 ppm. O valor mínimo de Mg neste período foi de 1,385 ppm e o máximo de 2,1 ppm. Já o valor mínimo de Ca foi de 3,08 ppm e o máximo, de 5,27 ppm. A amostra 1 registrou os maiores valores de Mg e Ca.

Na bacia do rio Pandeiros, a média dos elementos Mg é de 2,81 ppm e do Ca é de 5,298 ppm. No PRP, os valores médios de Mg são de 2,02 ppm e para o Ca são de 5,46 ppm. Já no rio São Francisco o valor médio do Mg é de 1,7 ppm e o de Ca é de 4,85 ppm.

A distribuição do Ca ao longo da bacia apresenta uma oscilação de valores, sendo maior nos pontos 1, 4, 5, 6, 10, 11 e 12 (Figura 71). O maior valor de Ca ocorre no ponto 1, e o menor no ponto 8, situado na transição entre as subunidades 2 e 3 do PRP. Já a distribuição do Mg tende a diminuir ao longo do canal do rio Pandeiros em direção ao rio São Francisco.

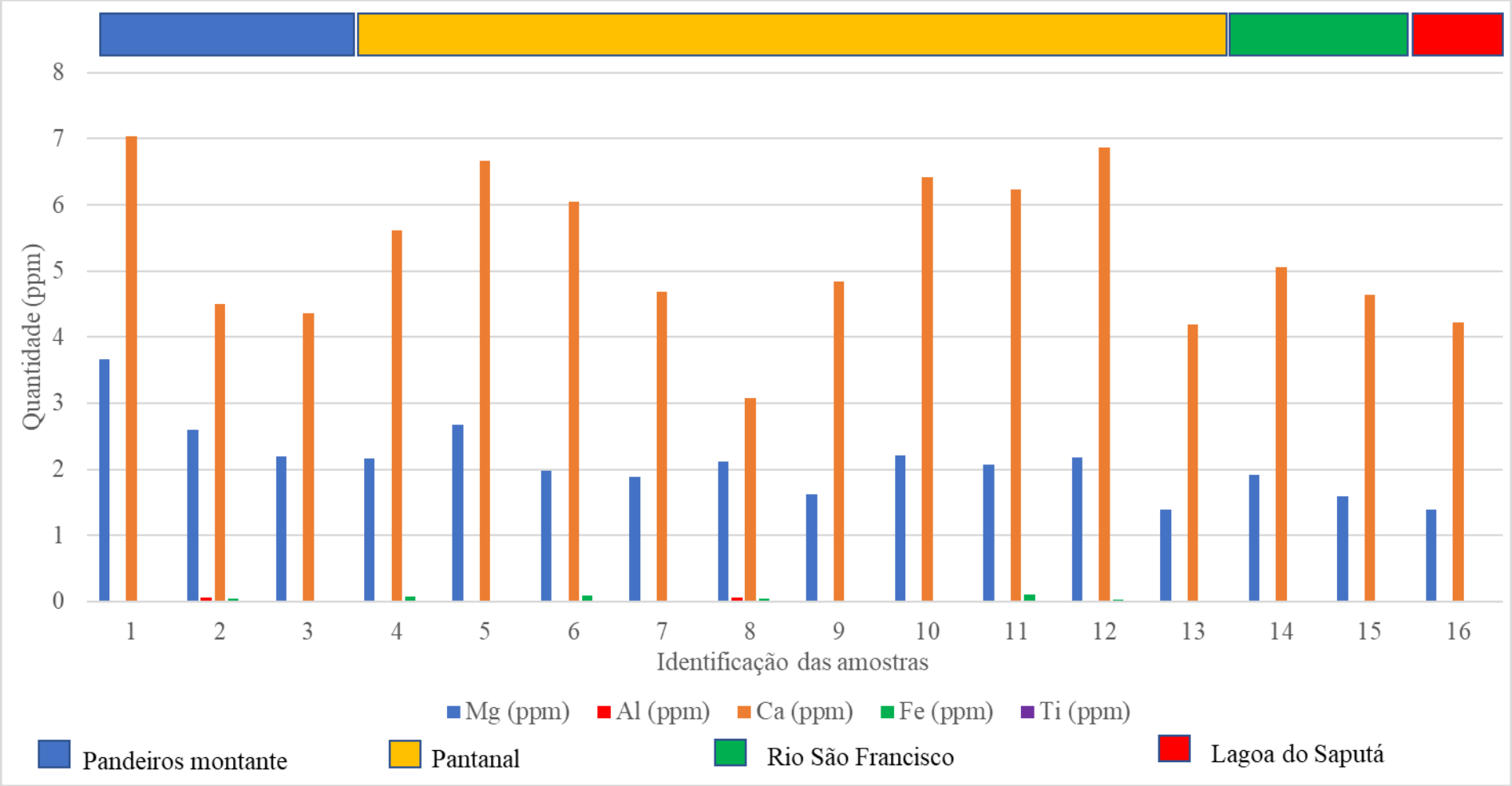
O Al ocorre nos pontos 2 e 8, com valores próximos de 0,06 ppm, representando, no entanto, diferentes áreas: uma, no ambiente da bacia do rio Pandeiros e a outra, no PRP. A ocorrência de Ti foi detectada nesses mesmos pontos, com valores de 0,01 ppm e próximos de 1,1 ppm, respectivamente (Figura 71).

O Fe foi registrado em diferentes pontos da área, com exceção do rio São Francisco (Figura 71). O maior valor de Fe foi registrado na subunidade P3, na transição para a P4, com 0,1027 ppm, e o menor, 0,011 ppm, na subunidade P3. O trecho do rio Pandeiros, no qual o valor do Fe é mais elevado, é entre as subunidades P1 e P2, até o início da P3, ou seja, enquanto o rio Pandeiros ainda está concentrado em um único canal.

Os resultados das análises das amostras coletadas na estação da seca, em outubro de 2017 são apresentados na Figura 72. Em geral, os valores de Mg e Ca são mais elevados do que os obtidos na estação úmida. A média geral das amostras é de 3,14 ppm para o Mg e de 9,16 ppm para o Ca. O Mg possui valor mínimo de 2,441 ppm e máximo de 5,69 ppm. Na bacia do rio Pandeiros, o valor médio é de 3,8 ppm, enquanto no PRP é de 3,06 ppm e no rio São Francisco, de 2,49 ppm. Já o Ca tem valor mínimo de 6,24 ppm e máximo de 9,16 ppm. Na bacia do rio Pandeiros seu valor médio é de 7,44 ppm, e no PRP é de 10,44 ppm e no rio São Francisco é de 6,8 ppm.

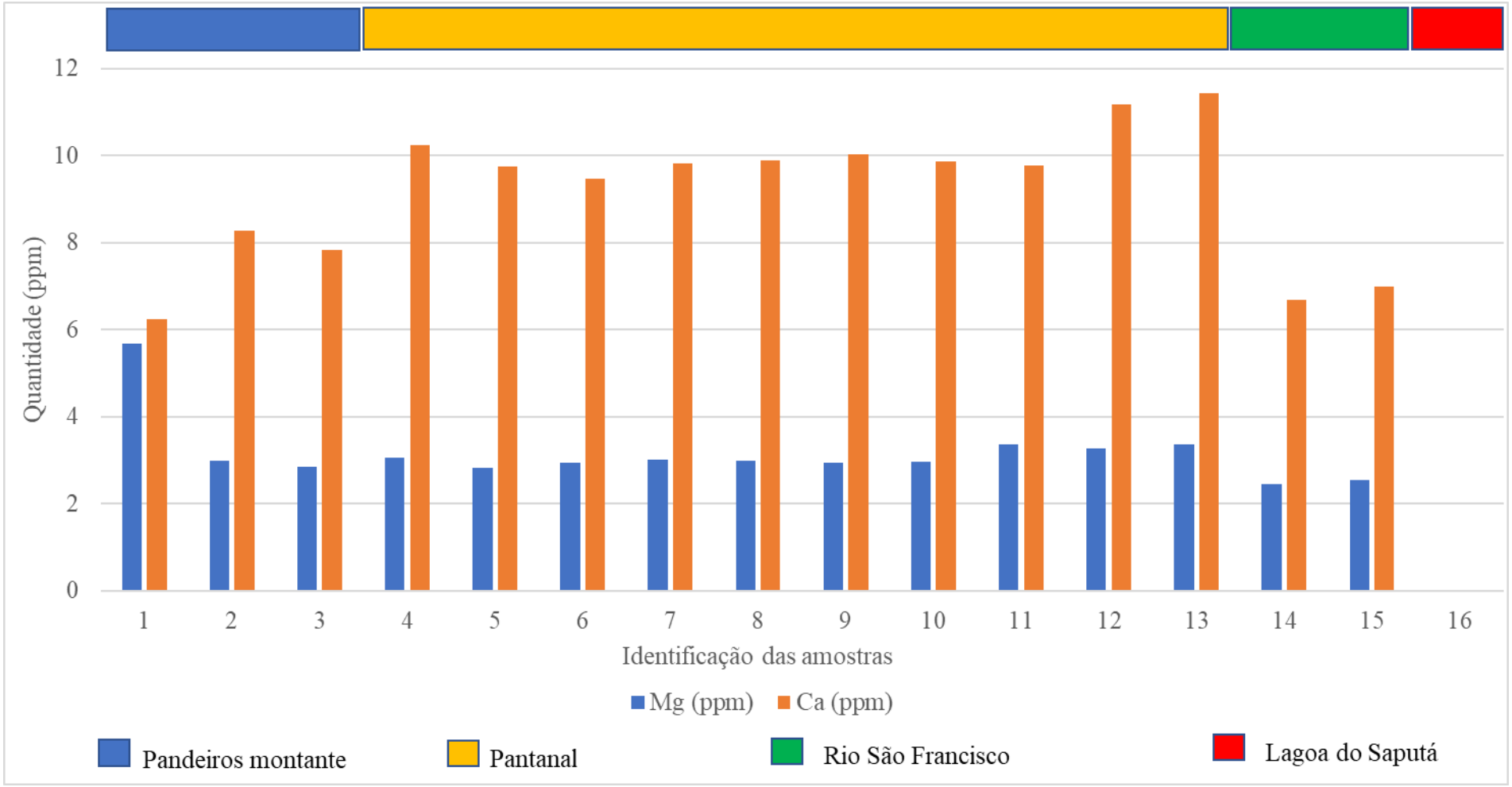
O ponto 1 apresenta valores relativamente elevados quando comparados ao de todas as amostras; e no período seco, estes elementos estão mais concentrados no PRP, sendo que as amostras do rio São Francisco continuam a apresentar os menores valores.

Figura 71 - Análise dos componentes dissolvidos na água via ICP das amostras da bacia do rio Pandeiros, do PRP e da foz no rio São Francisco durante a estação úmida em fevereiro de 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 72 - Análise dos componentes dissolvidos na água via ICP das amostras da bacia do rio Pandeiros, do PRP e da foz no rio São Francisco durante a estação seca em outubro de 2017.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Foi realizada uma análise estatística descritiva bivariada, por meio do coeficiente de correlação de Pearson, no software SPSS (Quadro 18). Foram utilizadas as variáveis da qualidade física e química da água, em busca da identificação de alguma assinatura geoquímica da mesma nos ambientes da bacia do rio Pandeiros, do PRP, e da foz no rio São Francisco.

Foram calculadas as médias para as seguintes variáveis: pH, CE, alcalinidade e sílica, utilizando os valores mensurados em fevereiro e outubro de 2017. Para turbidez e sólidos dissolvidos, foram mantidos os valores totais das estações úmida e seca de 2017, tendo em vista, a grande variação entre os resultados obtidos durante estes dois períodos. Os valores dos elementos ferro, alumínio e titânio foram mensurados apenas durante a estação úmida de 2017. Como pode ser observado no quadro 18, há fortes correlações positivas, destacadas em vermelho, e poucas e fracas correlações negativas, destacadas em verde.

Entre as correlações positivas, destacam-se a CE em relação a alcalinidade; entre o sólido total dissolvido (mês de fevereiro) e o magnésio; entre a alcalinidade em relação dos sólidos totais dissolvidos (fevereiro); entre sílica e magnésio; entre os sólidos totais dissolvidos (mês de fevereiro) e o magnésio; e por fim, uma relação do alumínio com o titânio.

As correlações negativas mais fortes são: entre o pH e os sólidos totais dissolvidos (outubro); entre a CE e o ferro; entre a turbidez (fevereiro) e a sílica, e principalmente entre a turbidez de outubro e a alcalinidade; entre os sólidos totais dissolvidos em fevereiro e a média do cálcio. Também há correlação negativa entre a turbidez e a média dos sólidos totais dissolvidos. Há correlação negativa também entre a média dos sólidos totais dissolvidos em relação ao cálcio.

Quadro 18 - Coeficientes de correlação de Pearson para os dados de análise física e química da água na bacia do rio Pandeiros, do PRP e da foz do rio São Francisco.

	pH Média	Condutividade Elétrica Média	Turbidez Fevereiro	Turbidez Outubro	Turbidez Média	Alcalinidade Média	Sólidos Totais Dissolvidos fevereiro	Sólidos Totais Dissolvidos outubro	Sólidos Totais Dissolvidos Média	Sílica Média	Cálcio Média	Magnésio Média	Ferro	Alumínio
Condutividade Elétrica Média	0,048													
Turbidez Fevereiro	0,450	0,270												
Turbidez Outubro	-0,182	-0,158	0,116											
Turbidez Média	0,451	0,265	0,998	0,120										
Alcalinidade Média	-0,115	0,701	-0,174	-0,382	-0,204									
Sólidos Totais Dissolvidos fevereiro	0,254	0,846	0,002	-0,316	-0,008	0,797								
Sólidos Totais Dissolvidos outubro	-0,369	0,044	-0,201	-0,212	-0,202	0,332	-0,097							
Sólidos Totais Dissolvidos Média	0,162	0,631	-0,120	-0,339	-0,087	0,348	0,707	0,000						
Sílica Média	0,140	0,317	-0,361	-0,583	-0,393	0,758	0,690	-0,007	0,246					
Cálcio Média	-0,239	-0,050	-0,189	-0,284	-0,228	0,479	0,035	0,333	-0,395	0,405				
Magnésio Média	0,176	0,810	0,117	-0,185	0,089	0,819	0,871	-0,030	0,374	0,602	0,315			
Ferro	0,248	-0,321	-0,038	0,193	-0,048	-0,168	-0,149	-0,283	-0,276	-0,042	0,347	0,056		
Alumínio	0,011	-0,096	-0,272	-0,026	-0,280	-0,018	0,058	-0,054	-0,026	0,273	-0,201	0,057	0,238	
Titânio	-0,053	-0,080	-0,271	-0,026	-0,279	-0,015	0,042	-0,070	-0,039	0,247	-0,195	0,045	0,229	0,986

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.2.7. Análise da dinâmica hidrológica na foz do rio Pandeiros durante a inundação do PRP, através do uso de traçadores isotópicos

As análises dos traçadores isotópicos foram realizadas nas amostras coletadas durante os pulsos de inundação de fevereiro de 2018 e março de 2018. Foi feita uma classificação das amostras a partir do ambiente hidrológico em que foram coletadas, a fim de estabelecer uma possível correlação entre os valores encontrados nas duas séries temporais e a dinâmica da água no interior da *wetland*.

A amostra 1 é representativa da bacia do rio Pandeiros a montante do PRP e seus valores para o mês de fevereiro foram: de -6,67 para o $\delta^{18}O$ e de -50,47 para o $\delta^{2}H$. No mês de março os valores foram de -6,34 para o $\delta^{18}O$ e de -29,31 para o $\delta^{2}H$. As amostras 2 e 3, representativas do PRP, na subunidade P3, apresentaram os valores médios no mês de fevereiro de: -7,53 para o $\delta^{18}O$, e de -51,28, para o $\delta^{2}H$. No mês de março os valores foram: de -5,79 para o $\delta^{18}O$ e de -36,37 para o $\delta^{2}H$. As amostras de 4 a 10, estão localizadas na subunidade P4 do PRP, estando sujeitas às influências da circulação hidrológica do rio São Francisco e do rio Pandeiros, via as águas do PRP. As amostras de 11 a 14 e 19 representam valores para o canal do rio São Francisco, em condições sem a possibilidade de influência das águas do rio Pandeiros. Os valores médios do mês de fevereiro para este conjunto foram: de -7,34 para o $\delta^{18}O$ e de -72,56 para o $\delta^{2}H$, enquanto no mês de março, foram: de -6,25 para o $\delta^{18}O$ e de -36,09 para o $\delta^{2}H$.

A origem das águas desses diferentes ambientes hidrológicos encontra-se relacionada à presença de diferentes regimes de precipitação. Na bacia do rio Pandeiros, as águas do reservatório da PCH, bem como as do PRP, estão sujeitas a uma maior evaporação, que pode provocar uma assinatura diferente para o $\delta^{2}H$ e o $\delta^{18}O$, caracterizada por um enriquecimento relativo dos isótopos estáveis mais pesados, devido ao fracionamento isotópico que ocorre durante a evaporação, transformando os isótopos mais leves em uma razão muito maior do que os isótopos mais pesados.

A figura 73 apresenta os valores para o $\delta^{18}O$ na foz do rio Pandeiros para as amostras coletadas em fevereiro e março. Em fevereiro, os valores estão distribuídos entre o valor mínimo do -8,16 até o valor máximo de -6,16 do $\delta^{18}O$, com uma média de -6,89; em março os valores são: mínimo de -7,31, máximo de -5,26 e médio de -5,93.

O mês de fevereiro apresenta valores mais negativos do que os do mês de março. Contudo, a definição do processo de evaporação requer a avaliação conjunta do $\delta^{18}O$ e do $\delta^{2}H$. Assim, apesar de ter ocorrido um enriquecimento (depleção) apenas do $\delta^{18}O$ no ponto 2, ele

sozinho não responde pelo comportamento da dinâmica de transporte da água no ambiente analisado.

A análise dos valores de $\delta^{18}O$ do mês de fevereiro indica a existência de 3 patamares no momento do pulso de inundação:

a) o representado pelos valores dos pontos de coleta de 1 e 4 a 10;

b) o segundo patamar, dos pontos 11, 13 a 17 e 19, e o

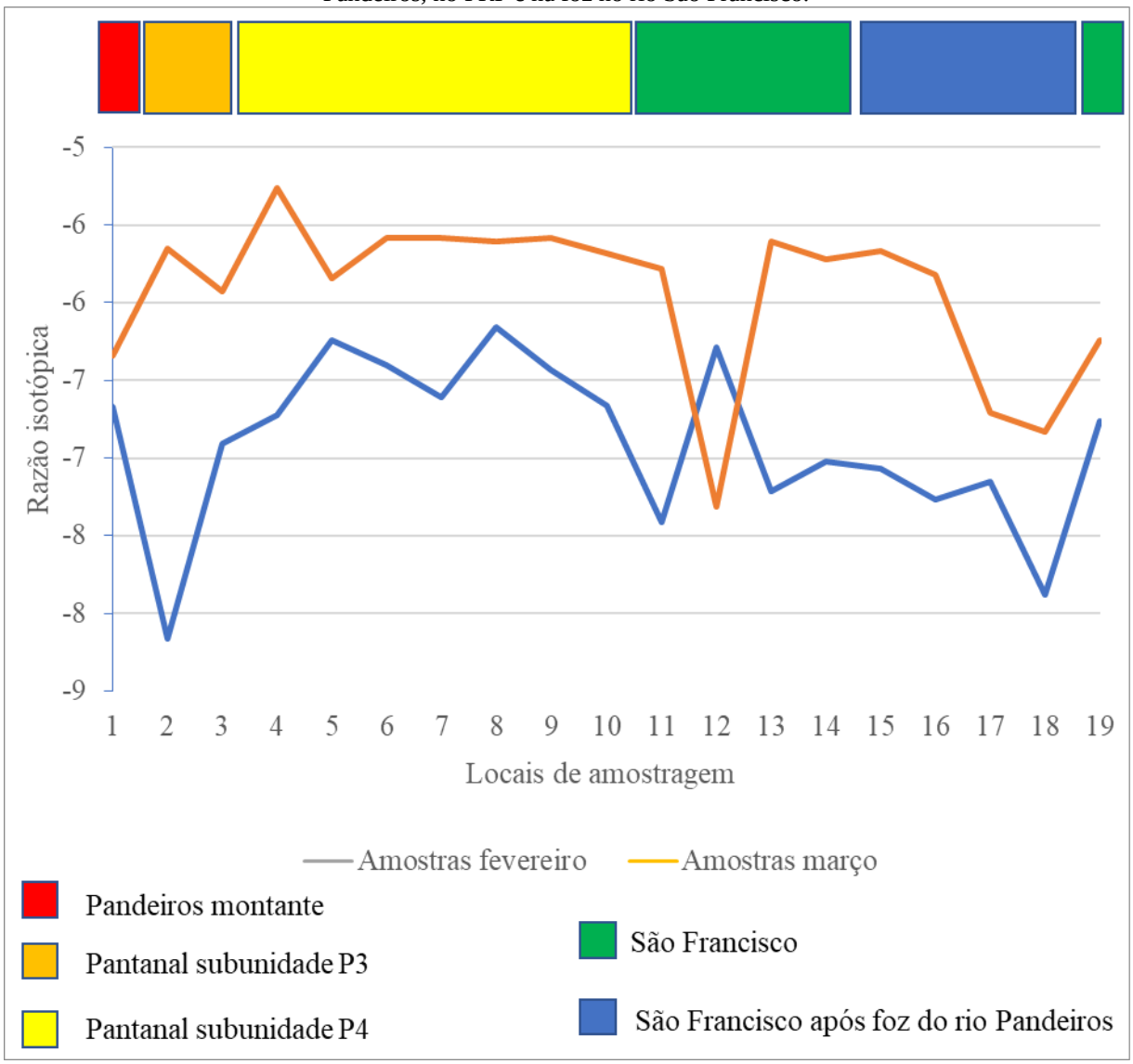
c) terceiro patamar dos pontos 2 e 18.

Isto parece indicar a existência de mais de uma fonte de água nos ambientes amostrados, revelando uma correspondência entre os locais classificados como de patamar 1, que indicaria as águas como provenientes da bacia do rio Pandeiros; o patamar 2, como oriundas do rio São Francisco e o patamar 3, como águas residuais, ou confinadas, nas quais a evaporação mais rápida ou mais prolongada, teria enriquecido a água com mais isótopos.

Durante o trabalho de campo para esta coleta, verificou-se que em algumas porções do PRP ainda havia águas provenientes do rio São Francisco, caracterizadas por serem barrentas, confinadas em bolsões nas águas mais transparentes do PRP. Entende-se que é nestas condições, que poderiam estar as amostras do 3º patamar aqui apresentado e discutido.

Os valores de $\delta^{18}O$ no mês de março apresentam uma tendência de estabilidade, exceto nos pontos 12, 17 e 18 e no ponto 1, que representa os valores a montante do PRP, no rio Pandeiros. Esta estabilidade nos valores, principalmente no intervalo entre 3 e 11, e de 12 a 16, pode indicar que havia uma única fonte para a água nestes ambientes, o que seria representado neste caso, pelo início do pulso de inundação no PRP, por meio das águas provenientes do rio São Francisco.

Figura 73 - Valores de $\delta^{18}O$ para os pulsos de inundação em fevereiro e março de 2018 na bacia do rio Pandeiros, no PRP e na foz no rio São Francisco.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As amostras de fevereiro como podem ser vistas na figura 74, também apresentam valores de $\delta^{2}H$ mais negativos do que as amostras de março. Os valores médios do mês de fevereiro são: -79,72 correspondendo ao menor valor mensurado; de -33,63 como valor máximo e -58,31, como valor médio, enquanto no mês de março, o valor mínimo foi de -44,8, o valor máximo -29,31 e o valor médio de -36,71.

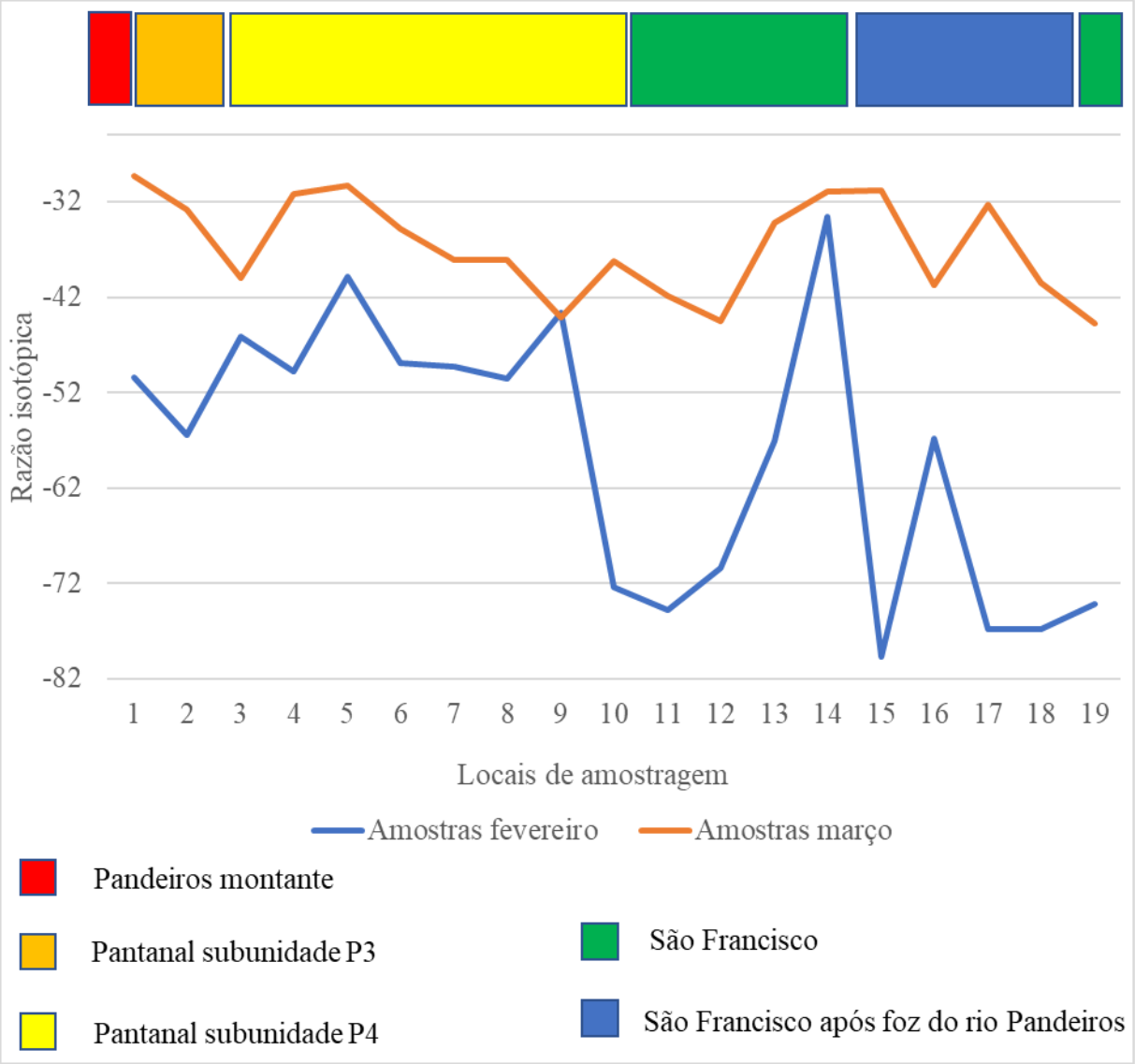
Os valores de $\delta^{2}H$ para as amostras do mês de fevereiro, indicam a existência de dois padrões distintos: um, até o ponto da amostra 9 e o outro, para os demais, caracterizado por variação dos valores. Este comportamento pode indicar a presença de duas fontes de água no PRP (representado pelas amostras 4 a 10) que, no momento da coleta das amostras, estava passando a ser ocupado pelas águas do rio Pandeiros, e não mais oriundas do rio São Francisco,

pois o pulso de inundação já havia começado há 3 dias e a magnitude do pulso de inundação era de baixa intensidade.

Observa-se que no mês de março todos os valores de δ^2H (Figura 74) foram similares ao longo da área amostrada, o que pode ser atribuído à presença de uma mesma fonte de água para esta área. Já no mês de fevereiro, os valores apresentam um determinado patamar até o ponto 9, reduzindo seu valor entre os pontos 10 e 12 e tornando a aumentar em 14, que são os locais de amostra no rio São Francisco; apresentando valores intermediários para os pontos localizados na foz do rio Pandeiros.

Assim, ao observar o gráfico dos valores de δ^2H (Figura 74), pode-se afirmar que há uma tendência dos mesmos, no mês de março, em todos os locais da amostragem, a apresentarem um comportamento uniforme, o que pode indicar a presença de uma mesma fonte de água, que seria oriunda do rio São Francisco no momento inicial de inundação do PRP.

Figura 74 - Valores de δ^2H para os pulsos de inundação em fevereiro e março de 2018 na bacia do rio Pandeiros, no PRP e na foz no rio São Francisco.



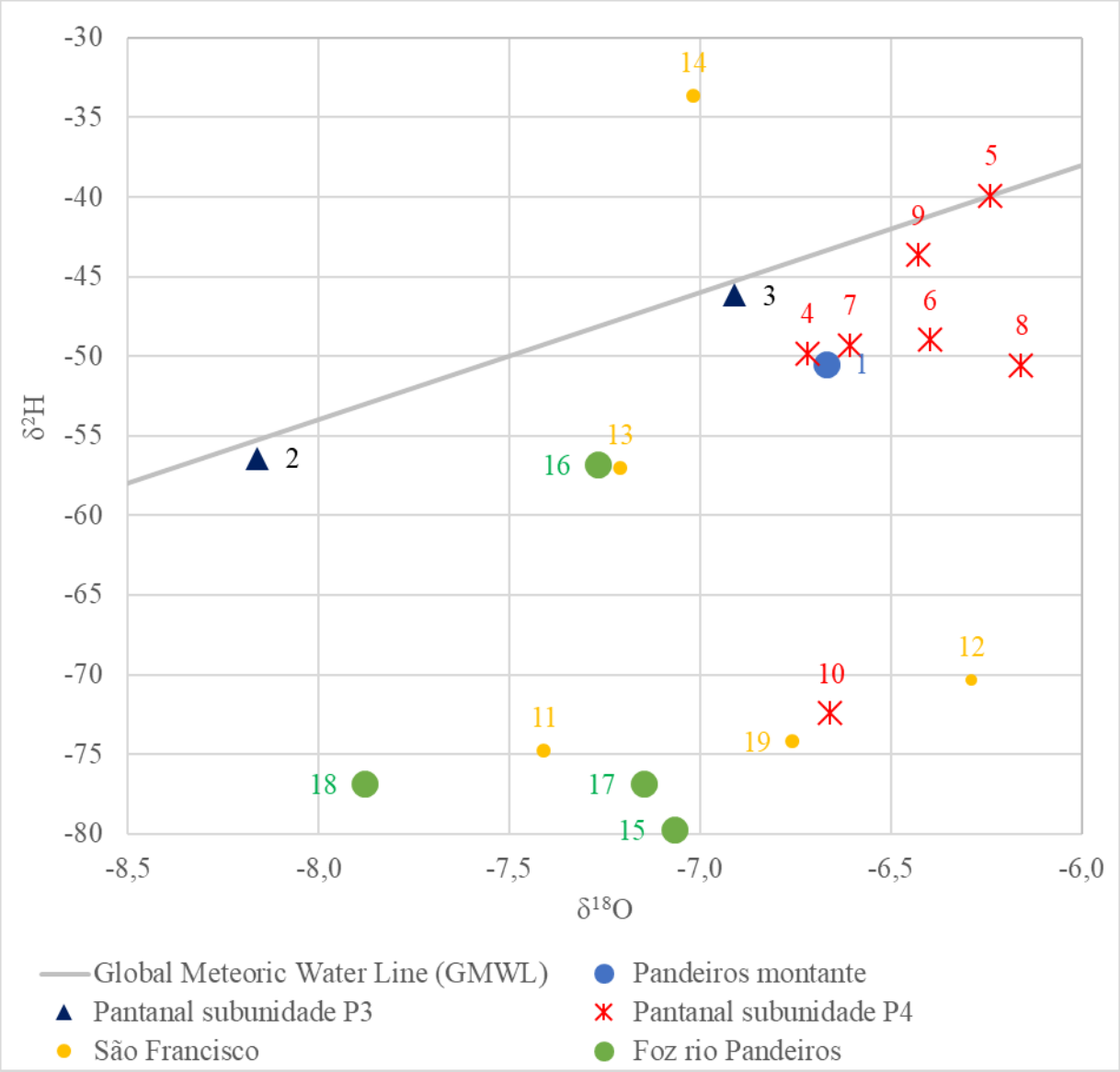
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Foram plotados ainda gráficos $\delta^{18}O/\delta^2H$ para tentar buscar uma identificação de correlação ou agrupamento entre as amostras. Na figura 75 estão as amostras do mês de fevereiro, quando o pulso de inundação já estava ativo no PRP há 3 dias (amostras 4 a 10), e as águas do rio São Francisco estavam sendo expulsas da área do PRP, sendo ocupadas pelas águas do rio Pandeiros. No gráfico (Figura 75), percebe-se que há um agrupamento das amostras 4, 7, 6, 9, 5 e 8 próximas do ponto 1, que corresponde às águas do rio Pandeiros.

Tendo como base a comparação com a *Global Meteoric Water Line* (GMWL), pode-se concluir que os pontos 10, 11, 12, 15, 17 e 18 são aqueles onde ocorreu mais evaporação e os demais estão relativamente próximos à GMWL e pouco evaporaram, embora os resultados dos

pontos do grupo 4, 7, 6, 9, 5 e 8, indiquem que a água pode ter sido proveniente de uma chuva mais quente (Figura 75).

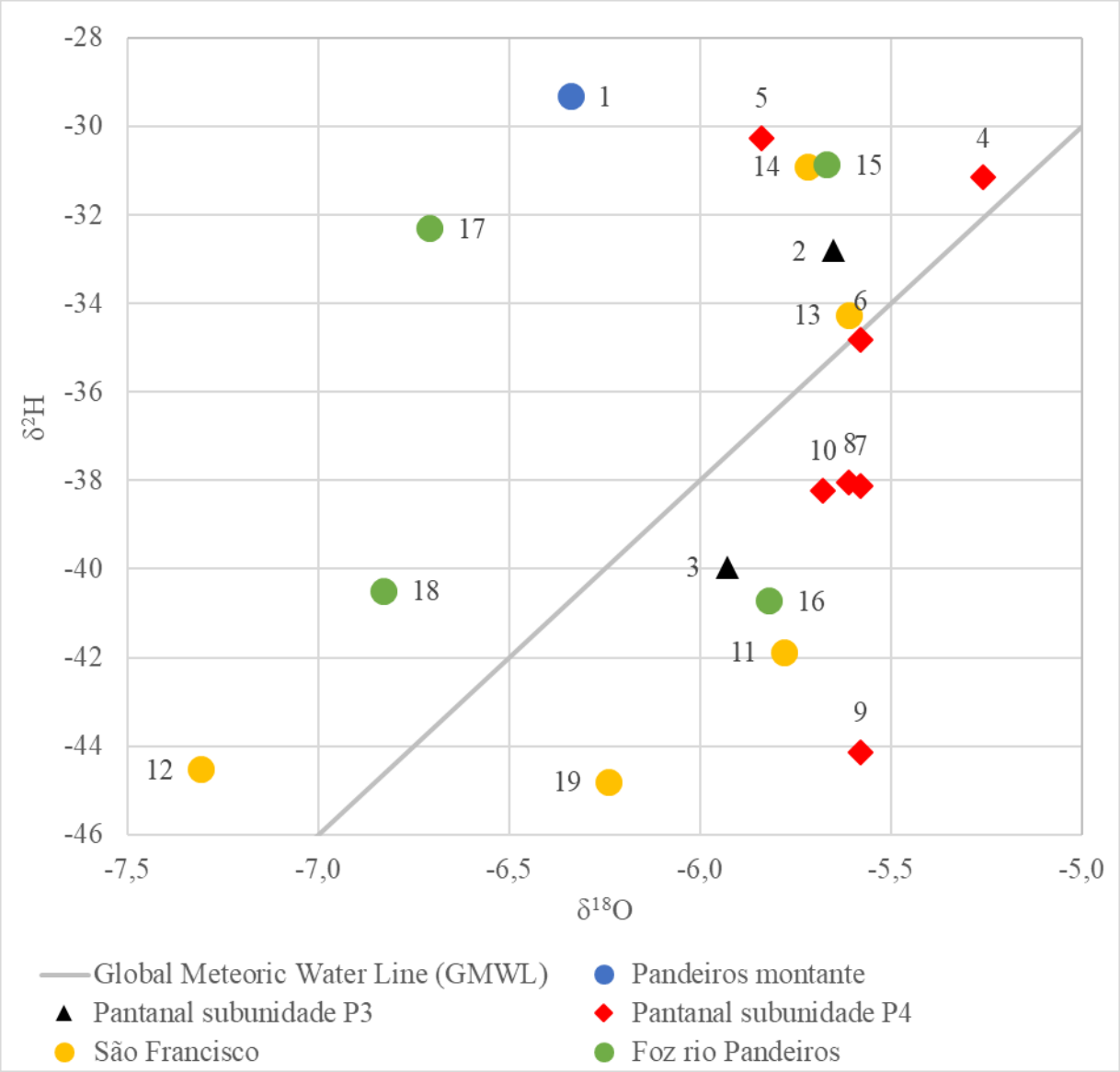
Figura 75 - Diagrama δ^2H / $\delta^{18}O$ para as amostras do mês de fevereiro de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 76 representa as amostras no mês de março, no início do pulso de inundação, quando se percebe que a amostra 1 (do rio Pandeiros) não apresenta proximidade com nenhuma outra. Já as amostras 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 (amostras do PRP), estão correlacionadas e próximas das amostras 11, 14, 13 (do braço esquerdo do rio São Francisco, que é a área da foz do rio Pandeiros) indicando que poderiam ter a mesma origem.

Figura 76 - Diagrama δ^2H / $\delta^{18}O$ para as amostras do mês de março de 2018.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Nota-se na figura 77, que o pulso de inundação de março de 2018 não alterou tanto o sistema, pois nos pontos mais próximos da GMWL não houve muita evaporação. Isto pode corresponder à magnitude e duração dos 2 pulsos de inundação indicados na figura 55, embora tenha sido constatado que, em alguns pontos amostrados, as alterações do $\delta^{18}O$ foram muito elevadas.

Os resultados das análises ainda foram plotados juntamente com a Reta Meteórica Mundial, com fins de comparação com os valores em termos globais. Na figura 77, percebe-se que a localização no quadrante negativo ressalta a importância do fracionamento isotópico promovido pela evaporação nesta área da região tropical. É possível observar também que as amostras do mês de fevereiro apresentam um valor ainda mais negativo, se comparado com as

amostras de março, mostrando a dinâmica de enriquecimento relativo dos isótopos, além da origem das águas ter uma velocidade e idade diferentes, pois a duração da ZCAS que causou o pulso de inundação em fevereiro foi maior do que a ZCAS que ocorreu no mês de março de 2018.

O quadro 19 apresenta os valores de médias de longo termo para $\delta^{18}O$[‰] e $\delta^{2}H$[‰] provenientes da *International Atomic Energy Agency* (IAEA), projeto WISER – *Water Isotope System for data analysis, visualization and Electronic Retrieval*, que possui um banco de dados para três cidades próximas a área de estudo: Brasília, Belo Horizonte e Salvador. Estes valores podem ser comparados e mensurados neste estudo para estimar a correlação de origem da umidade.

Por meio desta análise preliminar dos dados disponíveis, pode-se assumir que a estação de mensuração de Belo Horizonte possui valores de dados mais próximos das amostras do PRP. Isto poderia sugerir, embora esta seja uma abordagem preliminar, que a movimentação das massas de ar na região sudeste e o sentido geral de deslocamento das ZCAS, normalmente se dá de sudoeste para nordeste, se inicia ao sul de Belo Horizonte, indo em direção ao Norte de Minas Gerais.

Quadro 19 - Médias de longo termo para $\delta^{18}O$[‰] e $\delta^{2}H$[‰].

Localidade	Precipitação Total	$\delta^{18}O$[‰] W.Mean	$\delta^{18}O$[‰] Avg	$\delta^{2}H$[‰] W.Mean	$\delta^{2}H$[‰] Avg
Salvador	2,074.1 ± 399.3	-1.70 ± 0.38	-1.44 ± 0.29	-2.6 ± 2.9	-1.2 ± 3.1
Brasília	1,483.5 ± 279.6	-4.83 ± 1.24	-4.03 ± 0.88	-28.0 ± 9.0	-21.4 ± 6.8
Belo Horizonte	1,183.8 ± 264.1	-6.41 ± 1.96	-5.19 ± 1.87	-38.8 ± 15.4	-29.2 ± 14.7
PRP – fevereiro	-	-6,90	-	-58,31	-
PRP - março	-	-5,93	-	-36,71	-

– Significa ausência de dados calculados.
Fonte: IAEA, 2019 e o autor, 2019.

O quadro 19 mostra também que as precipitações no Pandeiros têm assinaturas isotópicas muito mais semelhantes às de Belo Horizonte e Brasília do que as de Salvador, uma vez que estas são muito mais ricas na composição isotópica porque refletem umidades recém-evaporadas. A análise da figura 77 também permite observar:

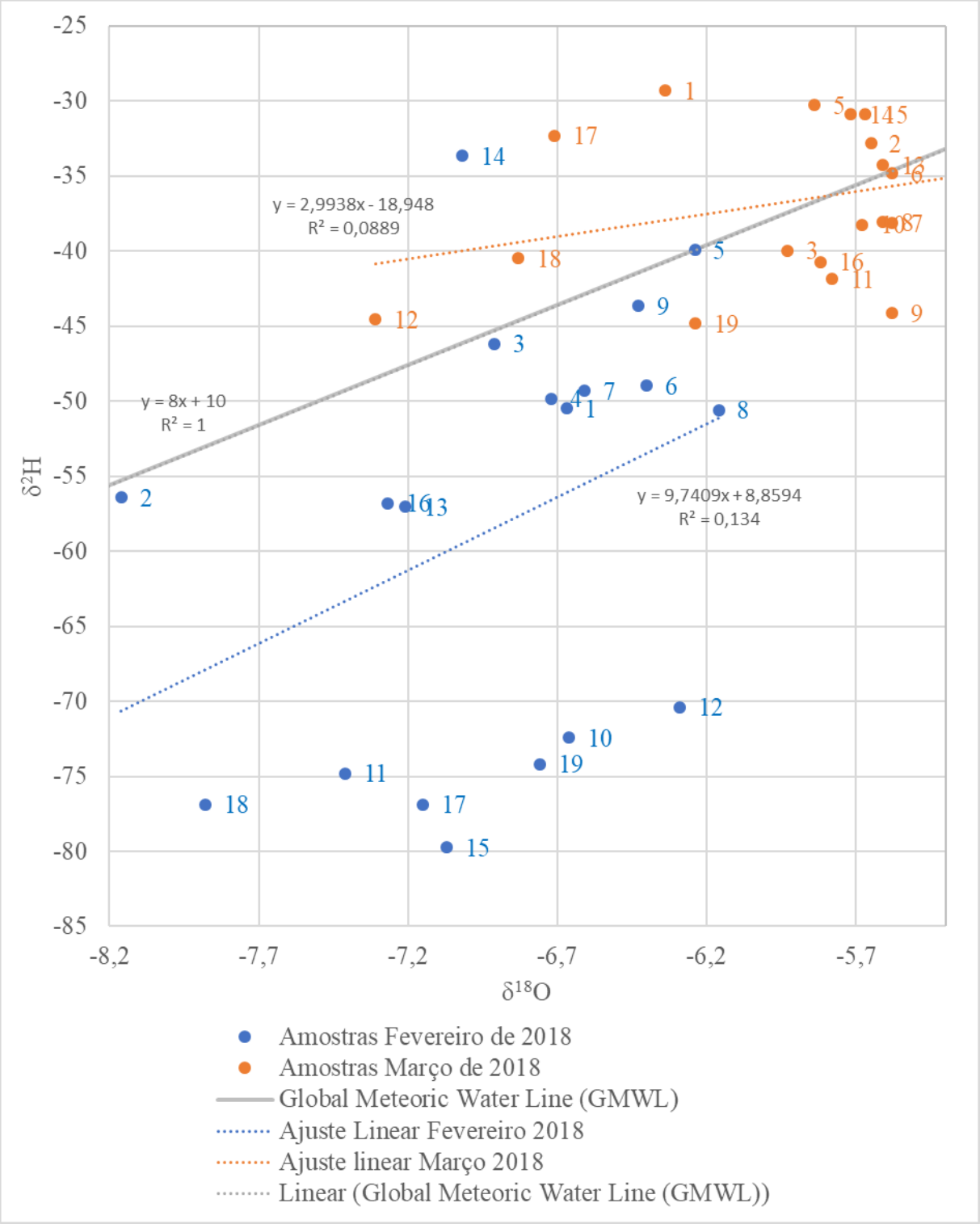
i) os pulsos de inundação podem ter influência significativa na qualidade da água do PRP e;

ii) os isótopos estáveis de $\delta^{2}H$ e $\delta^{18}O$ podem ser eficientes traçadores das alterações relacionadas com os pulsos de inundação em *wetlands*.

iii) o fato das amostras de fevereiro de 2018 estarem muito mais evaporadas é consistente com a rapidez e magnitude da alteração comparando com o início do pulso de inundação de março de 2018.

Esta análise preliminar indica que seria interessante utilizar uma abordagem também das análises de ^{3}H e ^{14}C para análise de datação, origens e trajetórias das águas a fim de complementar as conclusões aqui geradas.

Figura 77 - Valores de δ^2H e $\delta^{18}O$ para os pulsos de inundação em fevereiro e março de 2018 na bacia do rio Pandeiros, PRP e foz no rio São Francisco, relacionados com a Reta Meteórica Mundial.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.2.8. Análise da dinâmica hidrológica na foz do rio Pandeiros a partir da influência regional dos pulsos de inundação

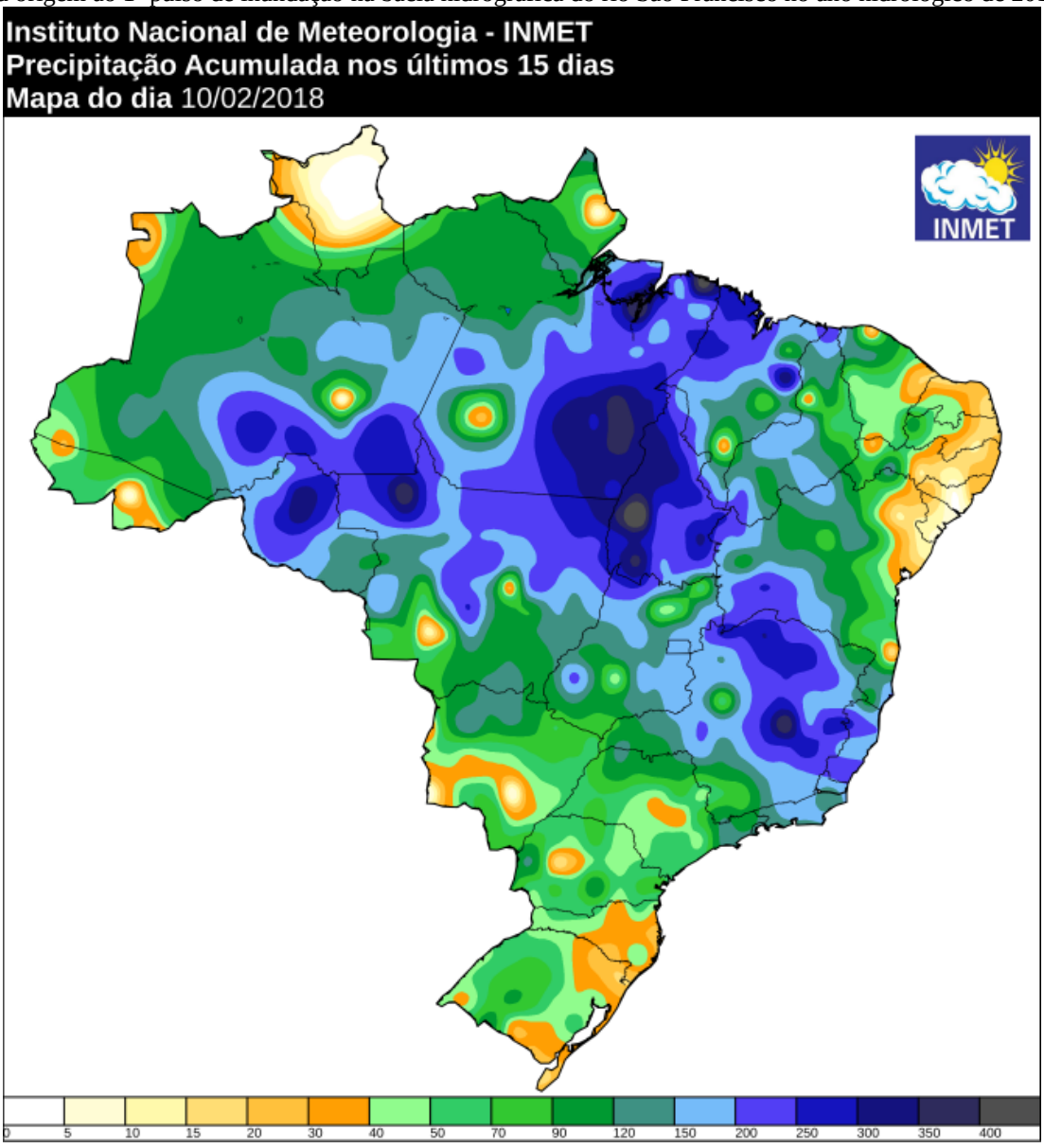
Durante a realização desta pesquisa foram registrados 2 pulsos de inundação no ano hidrológico de 2018 (Figura 55), já indicados no tópico 5.2.5, os quais tiveram magnitude suficiente para inundar o PRP. As características da dinâmica da água que circulou entre a bacia do rio Pandeiros, o PRP e o rio São Francisco foram analisados nos tópicos 5.2.6 e 5.2.7, demonstrando a existência de diferentes fontes de água que alimentam o PRP e sua vinculação com a precipitação, por meio da análise dos isótopos ^{2}H e ^{18}O.

O 1º pulso de inundação iniciou aproximadamente no dia 6 de fevereiro de 2018 (Figura 78), devido a ocorrência de uma ZCOU e ZCAS sobre a região sudeste do Brasil, que se movimentou do sul de Minas Gerais até o norte deste estado com acumulado de precipitação em 15 dias de até 350 mm, incluindo a bacia do rio Pandeiros, registrando acumulado de até 250 mm. Houve um grande acumulado de precipitação sobre a bacia do rio São Francisco (entre 150 a 250 mm) e o rio na estação de São Francisco aumentou seu nível a partir do dia 6 de fevereiro aproximadamente (Quadro 16).

Conforme a figura 78, esta monção distribuiu um grande acumulado de chuvas sobre a bacia do rio das Velhas e sobre a bacia do rio Pandeiros. No dia da coleta, o rio São Francisco, dias antes, já havia inundado o PRP, e devido à grande quantidade de água armazenada do rio Pandeiros, que também teve sua vazão aumentada, as águas do rio Pandeiros já estavam empurrando de volta as águas do rio São Francisco nas subunidades P3 e P4 do PRP, ocupando esta área inundada com a sua água. Assim, podem ser apresentados resultados na área do PRP de assinatura isotópica da água semelhante à do rio Pandeiros e diferenciada do rio São Francisco, como verificado no tópico 5.2.7.

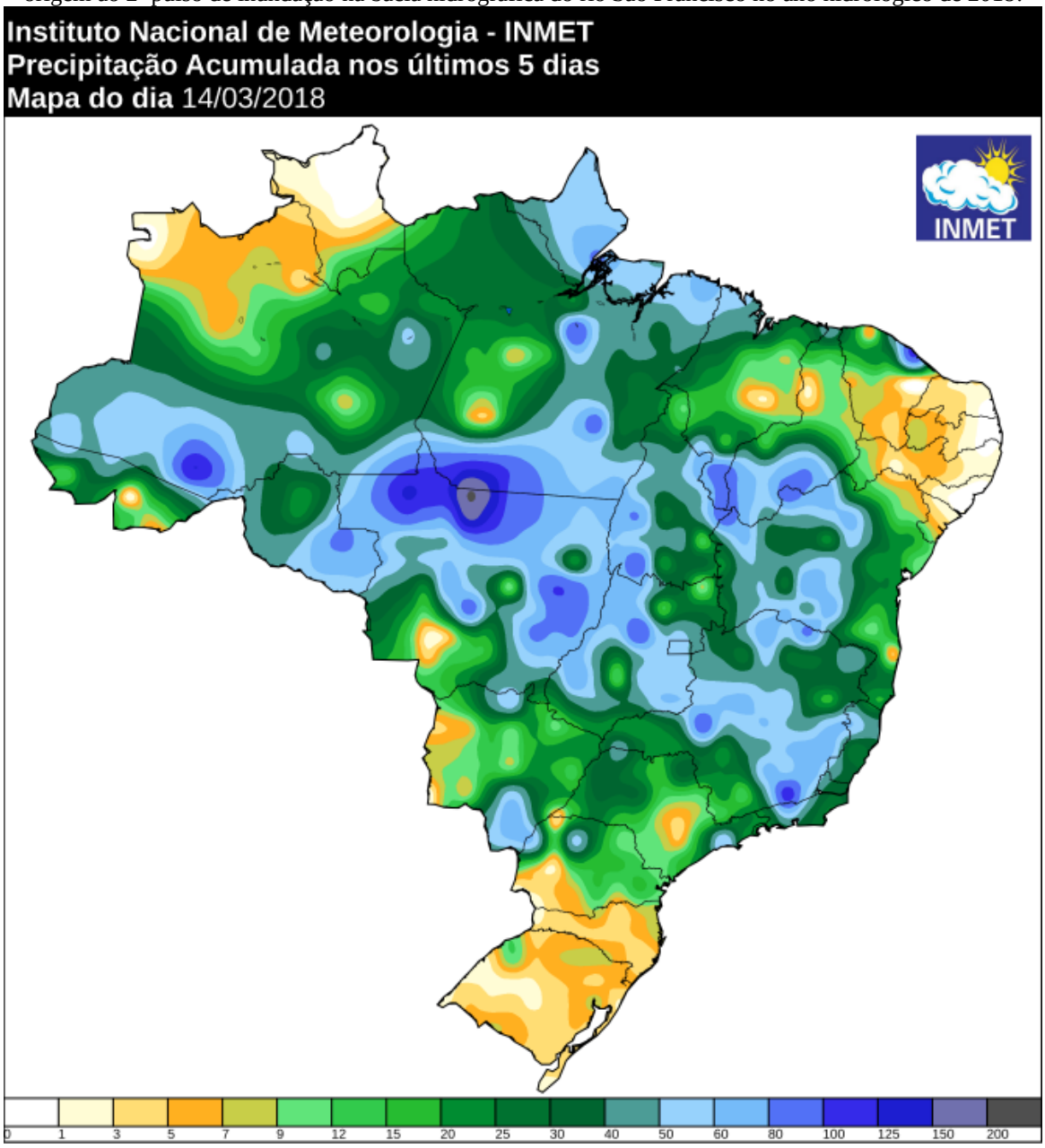
O 2º pulso de inundação ocorreu no mês de março de 2018, com as precipitações concentrando-se a partir do dia 10 de março (Figura 79), em parte da bacia hidrográfica do rio São Francisco, com totais acumulados em 5 dias variando entre 50 e 80 mm, principalmente na área das bacias do rio São Francisco e Pandeiros. Neste contexto, a inundação do PRP iniciou no dia 13 de março, no período da tarde, segundo informação da população barranqueira do povoado de Remansinho, situado logo a jusante da foz do rio Pandeiros. Este pulso de inundação também se deu em decorrência de uma ZCAS que atuou dias antes a montante na bacia do rio São Francisco, conforme mostra a figura 79.

Figura 78 - Acumulado de precipitação no Brasil nos últimos 15 dias anteriores a 10 de fevereiro de 2018, que deu origem ao 1º pulso de inundação na bacia hidrográfica do rio São Francisco no ano hidrológico de 2018.



Fonte: INMET, 2018.

Figura 79 - Acumulado de precipitação no Brasil nos últimos 5 dias anteriores a 14 de março de 2018 que deu origem ao 2º pulso de inundação na bacia hidrográfica do rio São Francisco no ano hidrológico de 2018.



Fonte: INMET, 2018.

5.2.9. Análise do monitoramento do nível da água no PRP e a influência dos pulsos de inundação das bacias do rio São Francisco e do rio Pandeiros, a partir da precipitação média nestas bacias

Após a caracterização dos pulsos de inundação que ocorreram na *wetland* e da análise das propriedades físicas e químicas da água, foi analisado o comportamento do nível da água no PRP. Como já demonstrado, há nesta *wetland* o aporte de água do curso natural do rio Pandeiros. No entanto, há também a entrada de água pela foz do rio, quando a cota do nível do rio São Francisco aumenta acima de 500 cm, aproximadamente, na estação fluviométrica de São Francisco.

Entende-se que esta alteração no nível da água do rio São Francisco, é condição *sine qua non* para que o PRP possa ser inundado, sendo que o incremento da água para esta *wetland*, pode se dar via a formação de pulsos de inundação nas duas bacias hidrográficas: rio São Francisco ou rio Pandeiros ou conjuntamente.

Por sua localização no interior continental, a principal forma de aumento do nível da água é via precipitação, que, no Cerrado, está concentrada durante a estação úmida, possuindo uma grande variabilidade espacial, principalmente considerando-se a localização da área de estudo na região sudeste (tropical úmida), em um contexto de transição para o semiárido, no nordeste brasileiro. Assim, para entender a dinâmica do aporte de água na *wetland*, e posteriormente o seu comportamento no interior desta, faz-se uma breve análise da precipitação que ocorre na região.

Para isto, foram escolhidas duas áreas de entorno da *wetland*: o entorno 1, que procura circundar o alto curso da bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do PRP; e o entorno 2, com vistas à caracterização de possíveis comportamentos locais da precipitação ao longo do ano, no entorno da bacia do rio Pandeiros. A análise desse segundo entorno, visa a obtenção de uma média geral da precipitação que ocorre na bacia, com especial atenção aos eventos de precipitação concentrada, normalmente as ZCAS ou Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU), que podem ser classificadas como o sistema de monções da América do Sul.

Foram utilizados os dados estações climatológicas no entorno 1: Januária, Belo Horizonte, Arinos, Pirapora, Paracatu e Bambuí, e a média dos dados registrados está apresentada na figura 80 (Superior). O entorno 2 é constituído pelas estações: Januária, Itacarambi, Montalvânia, São Romão e Chapada Gaúcha, cuja média dos dados também foi plotada na figura 80 (Inferior). O intervalo de dados considerado é igual ao intervalo de

monitoramento realizado pelos piezômetros (*divers*) instalados no PRP: 26 de julho de 2017 até 18 de setembro de 2018.

Na bacia do rio São Francisco, representada pelos dados do entorno 1, a estação úmida teve início no final do mês de setembro de 2017, quando foram registrados os primeiros valores médios de precipitação acima de 1 mm, inicialmente com maior intensidade no sul da bacia, em Bambuí, e a partir de outubro, com uma precipitação generalizada na área do entorno 1. O valor diário médio de precipitação na bacia foi de 2,45 mm, com no máximo 43,34 mm por dia, em média.

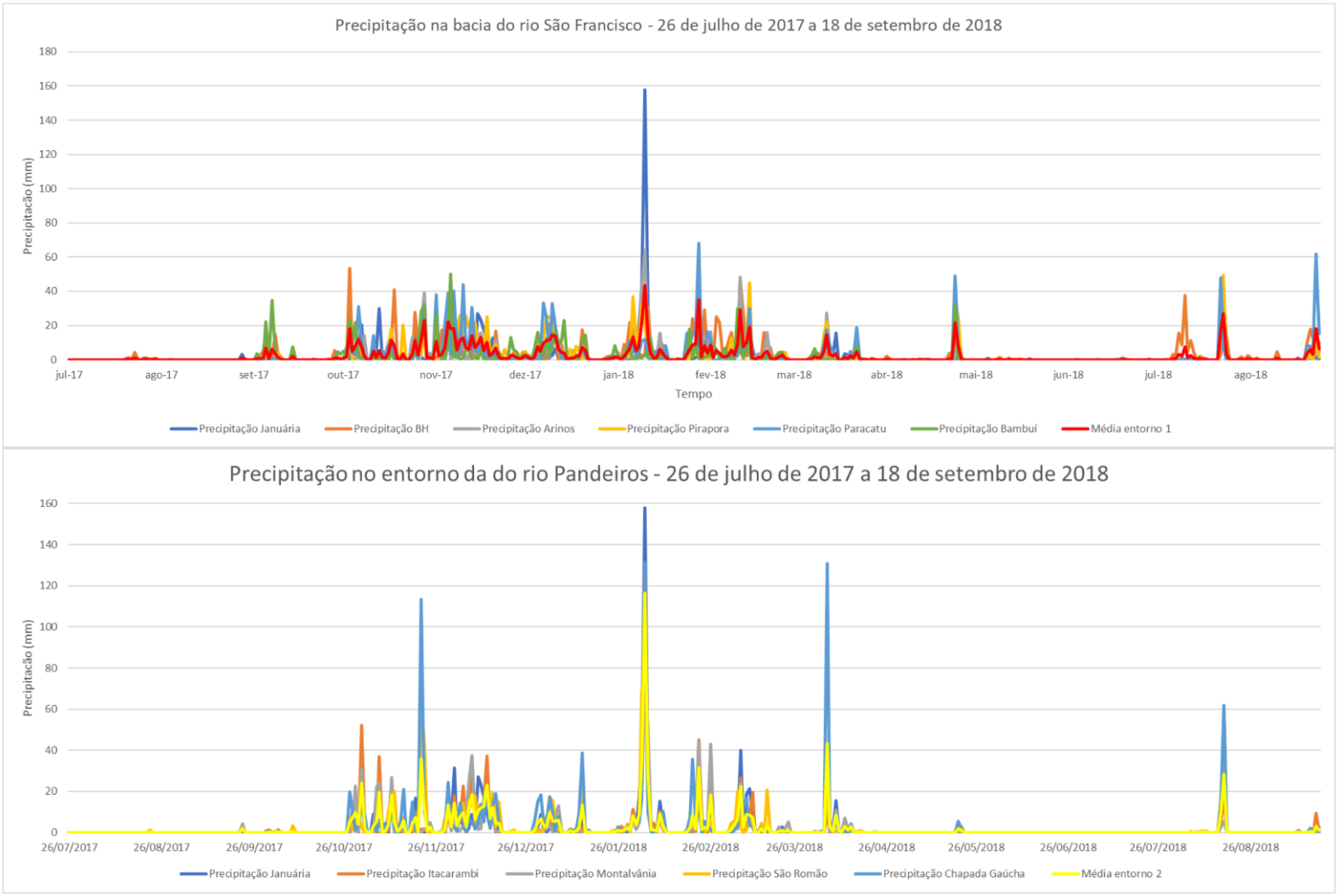
A precipitação apresenta uma grande variabilidade na bacia, tendo sido observada a ocorrência em Januária, em janeiro de 2018, um acumulado muito significativo de quase 160 mm, enquanto nas demais estações, os valores máximos de precipitação estiveram muitas vezes abaixo de 40 mm. Considerando os dados do entorno 1, os períodos em que a precipitação média na bacia esteve acima de 5 mm por dia, durante pelo menos 3 dias consecutivos foram: 30 de outubro a 01 de novembro; 29 de novembro a 13 de dezembro; 30 de dezembro a 6 de janeiro; 30 de janeiro a 5 de fevereiro; 19 a 22 de fevereiro e de 7 a 11 de março.

No entorno 2, que representa a precipitação na região próxima à bacia do rio Pandeiros, a estação úmida começou apenas no final do mês de outubro, tendo a estação chuvosa sido marcada, conforme a figura 80 (Inferior), por três episódios de grande volume de precipitação, nos meses de novembro, fevereiro e abril quando o valor médio de precipitação por dia foi de 2,15 mm e o valor máximo de 116,46 mm.

Os episódios de concentração de precipitação acima de 5 mm e com duração consecutiva de pelo menos 3 dias ocorreram nos períodos: 28 a 30 de outubro, 7 a 15 de dezembro; 3 a 6 de janeiro; 2 a 5 de fevereiro e 10 a 12 de março. Este registro demonstra que os episódios de concentração de precipitação não são homogêneos na bacia do rio São Francisco.

Após a análise geral da precipitação que ocorreu nas áreas do entorno 1 e 2, foi elaborada a figura 81, que reúne os dados da precipitação média do entorno 1, precipitação média do entorno 2, os dados de vazão diária da estação fluviométrica da PCH do rio Pandeiros, os dados da estação fluviométrica de São Francisco e os dados de cada piezômetro instalado, representando as quatro subunidades hidrogeomorfológicas do PRP. Esta figura possibilita facilmente estabelecer uma comparação do comportamento do nível da água e seus principais mecanismos de controle como a vazão e a precipitação (local e regional) que podem provocar a ocorrência dos pulsos de inundação e a alteração efêmera do nível de base local.

Figura 80 - Precipitação média na bacia do rio São Francisco (Média entorno 1) e na bacia do rio Pandeiros (Média entorno 2).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os dados dos piezômetros instalados longitudinalmente a *wetland*, de montante a jusante, em cada uma das subunidades identificadas, juntamente com as demais informações (Figura 81), permitem uma interpretação do nível da água no PRP correlacionada aos demais mecanismos que são responsáveis pela sua flutuação na paisagem, facilitando sua compreensão.

O piezômetro 5 foi instalado na subunidade P1 (Alto PRP), na margem direita do rio Pandeiros, no fundo de um canal de vereda já muito degradada (Figuras 12 e 81). Contudo, esta área chega a ser inundada quando o nível do rio Pandeiros invade a planície de inundação, onde se encontra localizada a própria área da vereda. Esta subunidade é considerada menos ativa em termos de ritmo de inundação, se comparada às demais subunidades, pois suas vertentes são mais íngremes, fazendo com que ela dificilmente seja inundada. Os dados mostram que esta subunidade possui uma variação pequena nos valores do piezômetro ao longo do ano, sendo que o menor valor registrado foi de 68,75 cm acima do sensor, enquanto o valor médio foi de 175,55 cm e o máximo de 346,55 cm. Os valores obtidos nesse medidor mostram uma grande estabilidade quando comparado com os valores dos demais medidores, apesar de apresentarem uma variação diária maior, o que poderia indicar que o piezômetro esteve acima do nível da água. Os maiores níveis desta localidade foram registrados em 7 de fevereiro de 2018 e em 3 de março de 2018, e ambos os episódios ocorreram à noite.

Os dados da figura 81 apontam que o nível da água começa a subir no dia 27 de outubro de 2017, elevando-se rapidamente em quase 30 cm em menos de quatro horas no dia 29 de outubro. A partir desta data, o nível da água vai aumentando progressivamente, atingindo, até o fim de janeiro, o nível de 200 cm. Novamente, de modo abrupto, entre os dias 3 e 7 de fevereiro de 2017, o nível da água aumenta 150 cm aproximadamente, quando atinge o maior valor da série. Após este episódio, o nível da água foi se reduzindo lentamente no decorrer do ano, embora, durante a estação seca de 2018, o nível da água não tenha retornado para o nível registrado no ano anterior, se mantendo próximo a 100 cm, o que representa uma elevação do nível da água em relação ao período de seca de 2017.

Ficou caracterizado um pulso de inundação nesta subunidade, no mês de fevereiro, que está correlacionado com o maior pulso de inundação ocorrido no PRP no período da análise; nesta ocasião, o rio Pandeiros apresentou o valor mais elevado de vazão do período analisado, tendo sido concomitante com um pulso de inundação no rio São Francisco. Na região do entorno 2, neste mesmo período, foi registrada uma grande quantidade de precipitação, o que provavelmente gerou o grande pulso de inundação no rio Pandeiros. Dias depois, um grande

volume de precipitação também aconteceu na bacia do rio São Francisco (no entorno 1), gerando o pulso de inundação no rio São Francisco (Figuras 80 e 81).

O piezômetro instalado na subunidade P2 localiza-se nas proximidades da Lagoa Feia, uma lagoa temporária que é inundada em pulsos de média intensidade no PRP. O comportamento do nível da água nesta subunidade é muito similar ao da subunidade P1, mas apresentando uma magnitude diferente. O valor mínimo do nível da água foi de 135,95 cm de profundidade, com o valor médio 286,58 cm e o máximo de 514,85 cm, sendo que o primeiro aumento do nível da água ocorreu no dia 29 de outubro de 2017, com elevação de 35 cm em um período de quatro horas (Figuras 12 e 81).

Foram registradas mais 2 elevações escalonadas no período analisado, marcadas por um aumento abrupto, seguido de manutenção estável do nível da água, em dezembro e em fevereiro, esta última coincidente com o pulso de inundação ocorrido no P1 (Figura 81). No entanto, no P2, no intervalo de cinco dias, houve um aumento de aproximadamente 230 cm do nível da água. Após atingir o auge no dia 8 de fevereiro, o nível da água passou a cair de modo suave até atingir um patamar constante, pouco acima de 250 cm, que permanece durante a estação seca, em uma profundidade mais elevada do que a do ano anterior.

É possível, portanto, inferir que o nível da água nestas duas subunidades encontra-se vinculado aos pulsos de inundação. Ou seja, a cada grande pulso de inundação que ocorre no rio Pandeiros, principalmente no fim da estação seca, causa a elevação no patamar do nível da água. Contudo, após atingir a maior cota de elevação no pulso de inundação que ocorre em fevereiro, os pulsos de inundação subsequentes, que têm uma magnitude menor, parecem não afetar o comportamento do nível da água nestas subunidades, indicando um possível isolamento desta área em relação ao pulso de inundação, ou sendo talvez, completamente escoados ou utilizados para a manutenção do nível da água (Figura 81).

Na subunidade P3 foram instalados dois piezômetros: um, na margem direita do PRP, nas margens da Lagoa Verde, próximo da transição entre a planície de inundação e as vertentes drenadas; outro, na margem esquerda do PRP, nas margens da Lagoa do Jatobá. Esta última constitui um meandro abandonado do rio Pandeiros, localizado no máximo a 150 m do canal atual do rio. Embora pertencentes à mesma subunidade, devido a sua localização, apresentam dados que indicam comportamentos hidrogeomorfológicos muito diferentes.

A área onde está o piezômetro 3, situado na margem esquerda do PRP (Lagoa do Jatobá) apresenta uma manutenção constante do nível da água que oscila entre 100 cm e 150 cm,

provavelmente devido à proximidade do rio. O valor mínimo foi de 110, 68 cm, o médio de 192,08 cm e o valor máximo de 313,35 cm para o período analisado (Figuras 12 e 81).

Foi identificada apenas uma alteração significativa do nível da água, também abrupta, no dia 29 de outubro, representando o fim da estação seca (Figura 81), como nas demais subunidades (P1 e P2). Após esta elevação, o nível se manteve próximo de 200 cm, exceto no período compreendido entre 14 de março até 16 de abril, em que o nível se eleva novamente para 244 cm aproximadamente, reduzindo depois, mas de forma suave.

Como nas subunidades P1 e P2, o nível da água permaneceu elevado durante a estação seca em um patamar superior ao do ano anterior (2017), neste caso, acima de 200 cm, aqui (piezômetro 3), não se verificou correspondências diretas com os pulsos de inundação, apenas durante a transição da estação seca para a úmida, havendo, contudo, uma elevação generalizada do nível freático na região no ano de 2018 (Figura 81). A partir do dia 11 de setembro de 2018, ocorre uma série de perturbações nos valores do nível do sensor, que não pôde ser avaliada, já que não há registros de alteração no nível e na vazão dos rios Pandeiros e São Francisco, apesar do registro dos episódios de precipitação em toda a região.

Ainda na unidade P3, onde está instalado o piezômetro 2, nas margens da Lagoa Verde, distante do canal principal do rio Pandeiros. Esta área possui um comportamento do nível da água diferente em relação às demais subunidades (P1 e P2). Até o dia 29 de outubro de 2017, o nível da água, durante a estação seca, apresentava um declínio suave, mas constante, até alcançar aproximadamente 64 cm. Neste dia, ocorreu o primeiro aumento do nível da água, de cerca de 35 cm, passando para mais de 100 cm de profundidade. Nos dias seguintes, até o dia 7 de novembro, ocorreram flutuações no nível da água, que apresentaram, na média, uma estabilidade próxima de 100 cm, mas com muitas flutuações.

A partir de 7 de novembro, passa a ocorrer um processo de aumento suave e constante do nível da água, contrastante com a maneira abrupta ocorrida nas subunidades P1 e P2, que se manteve até aproximadamente o dia 2 de dezembro, quando o nível da água atinge 200 cm, permanecendo assim (com exceção dos períodos de ocorrência dos pulsos de inundação) até o fim de abril de 2018 (Figura 81). É durante a estação úmida que o comportamento do nível da água desta área se diferencia das demais subunidades (Figura 81), quando se observa uma menor amplitude entre os valores de níveis máximo e mínimo do nível da água, sendo o valor mínimo nesta área, de 64,01 cm, a média de 169,99 cm e o valor máximo foi de 300,17 cm.

Durante a estação úmida, em que o nível da água está em torno de 200 cm, ocorreram 6 episódios de elevação do nível da água, sendo cinco destes com 50 cm de aumento e um com

100 cm de aumento. A análise da figura 81, indica que estas cinco oscilações correspondem aos pulsos de inundação que ocorreram no rio São Francisco e no rio Pandeiros, embora neste último tenha ocorrido várias outras oscilações com menor magnitude, que por sua vez, correspondem aos períodos de maior concentração de pluviosidade no entorno 1 e 2 (Figura 80).

Nesta região, portanto, há uma transição de ambientes de dinâmica hidrogeomorfológica: enquanto ao norte do piezômetro 3, o nível da água depende principalmente dos pulsos de inundação do rio Pandeiros, havendo, contudo, um aumento local do nível da água, provavelmente devido a elevação do nível freático, ao sul do piezômetro 3, o comportamento do nível da água passa a ser definido pelas oscilações do nível da água do rio São Francisco.

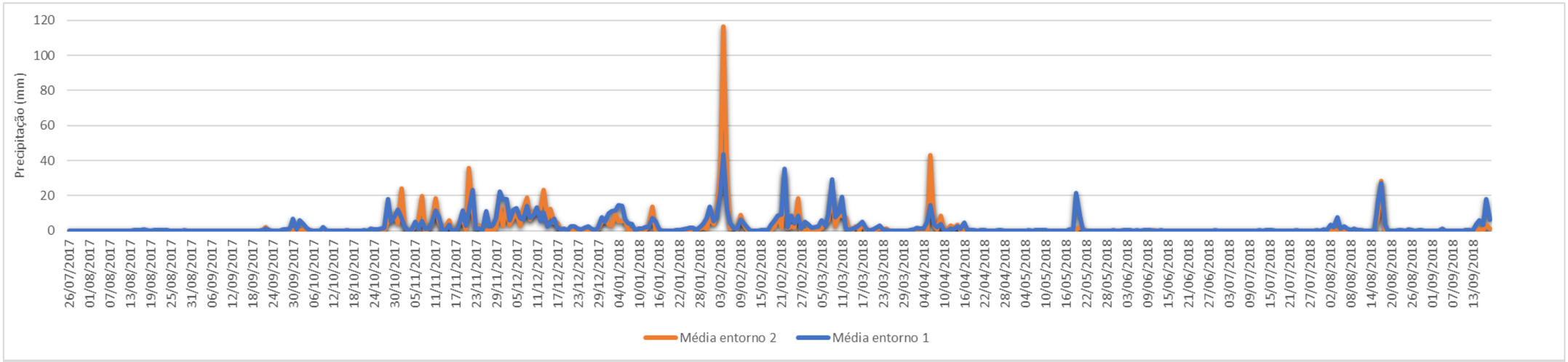
Após o fim do mês de abril e o início do mês de maio, já no começo da estação seca, começaram a ocorrer algumas pequenas oscilações diárias no nível da água no piezômetro 3. Embora a causa exata não tenha sido determinada, considera-se que esta perturbação ocorra em virtude da localização da instalação do piezômetro, próxima a uma fazenda onde foi verificada captação de água em pequena quantidade para abastecimento humano e dessedentação animal, provocando oscilação no nível da água.

A subunidade P4 onde está instalado o piezômetro 1 (Figura 12), está localizada na Lagoa do Atoleiro, uma das áreas mais próximas da foz do rio Pandeiros, distante a aproximadamente 3 km do canal do rio São Francisco. Como se observa na figura 81, o comportamento do nível da água nesta área é marcado pela estabilidade, em torno de 150 cm durante a estação seca de 2017 e próximo de 200 cm durante a estação seca de 2018. Nesta subunidade, também no dia 29 de outubro de 2017, ocorreu um pequeno aumento no nível da água, de aproximadamente 20 cm (Figura 81), que se dá em um ritmo mais suave do que em relação às subunidades P1, P2 e P3.

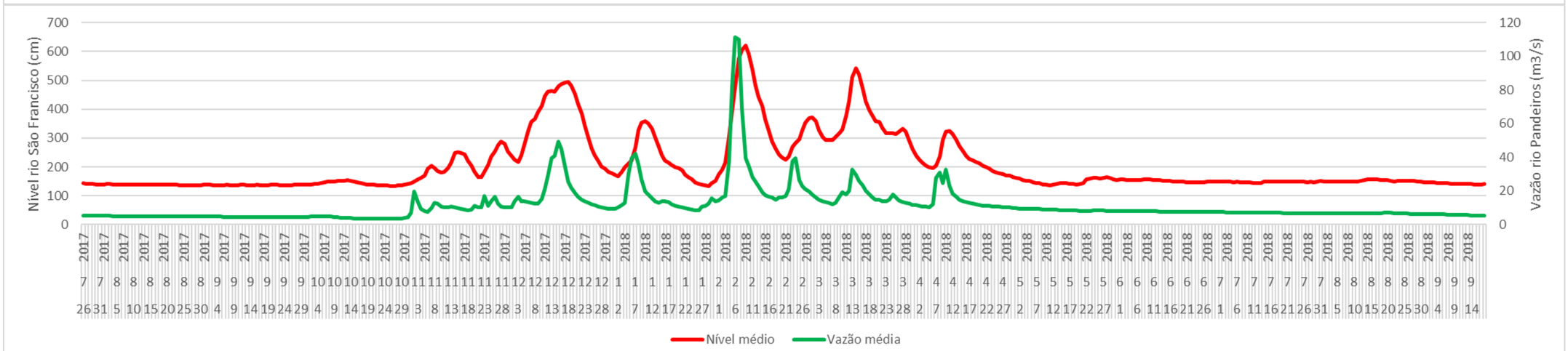
Após este aumento, foram registradas oscilações mais abruptas no nível da água nos dias 7 a 27 de dezembro de 2017, 4 a 20 de fevereiro de 2018 e de 11 a 24 de março de 2018. Nota-se que estes três períodos de maior oscilação do nível da água na subunidade P4, correspondem aos pulsos de inundação visitados e ilustrados no tópico 5.2.5, 5.2.6, 5.2.7 e 5.2.8 colaborando na confirmação da análise e da proposta apresentada para esta tese.

Figura 81 - Comparação entre precipitação, nível do rio São Francisco, vazão do rio Pandeiros e dados dos piezômetros no Pantanal do rio Pandeiros (PRP).

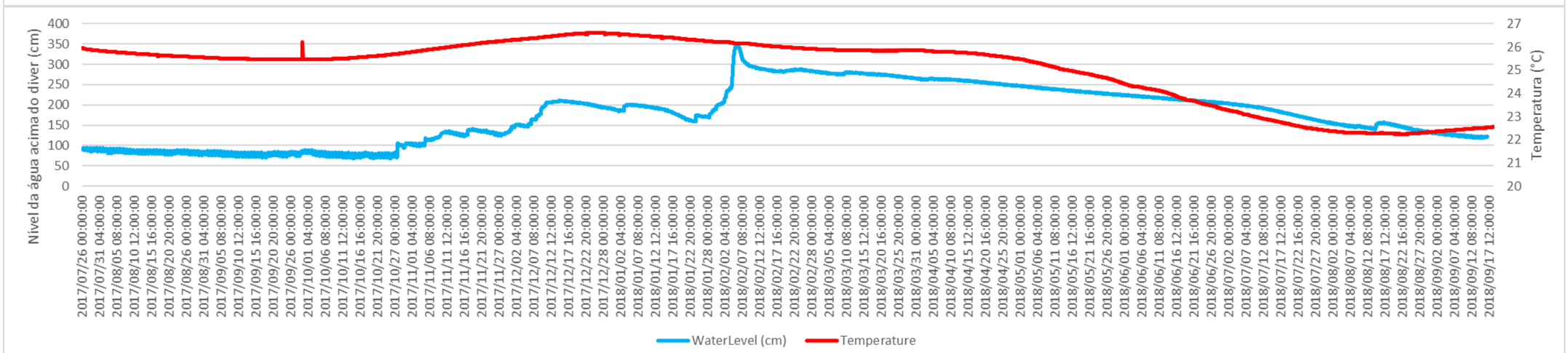
Precipitação média na bacia do rio São Francisco (entorno 1) e na bacia do rio Pandeiros (entorno 2)



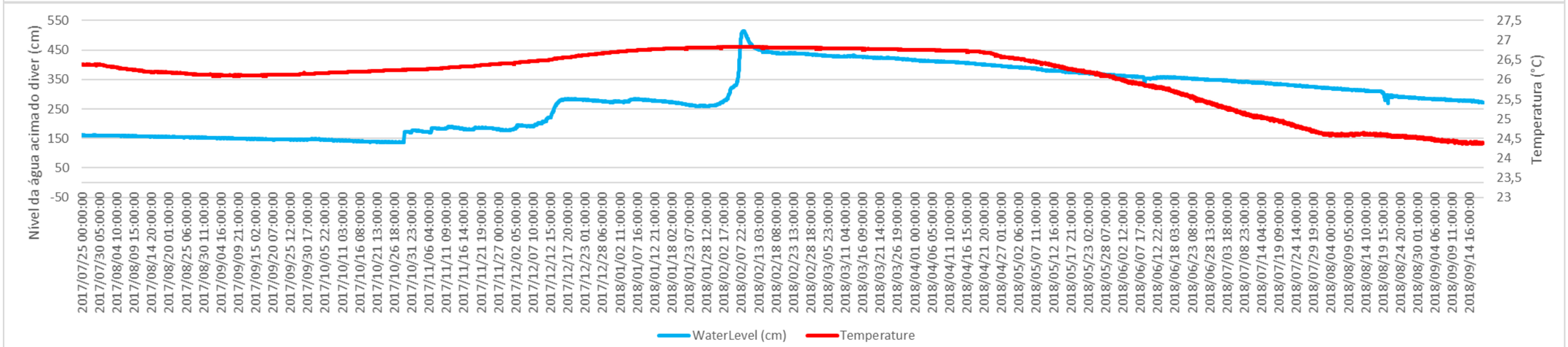
Nível do rio São Francisco na estação fluviométrica à montante do Pantanal (44200000) e vazão do rio Pandeiros a montante do Pantanal.



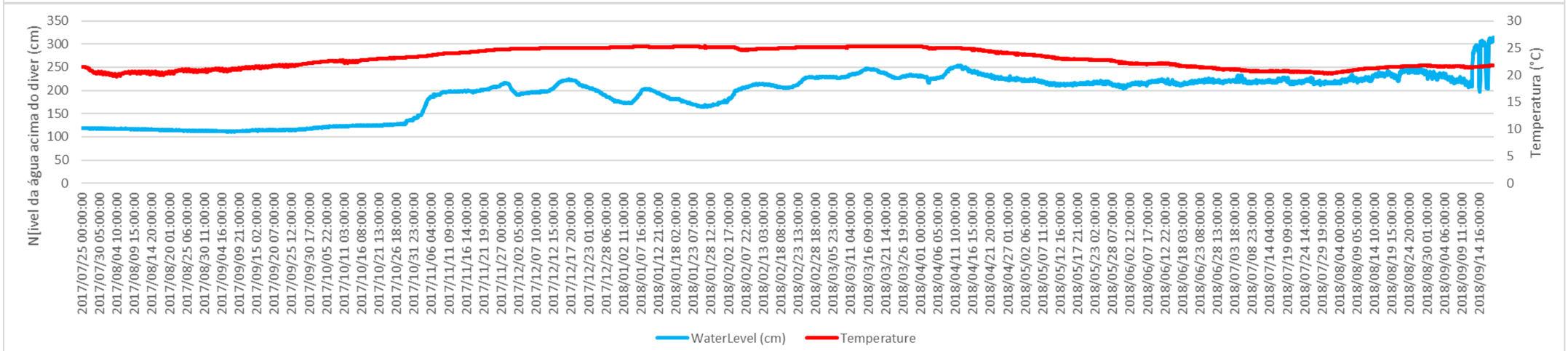
Nível da água na subunidade P1 - Alto Pantanal - Piezômetro 5 e temperatura.



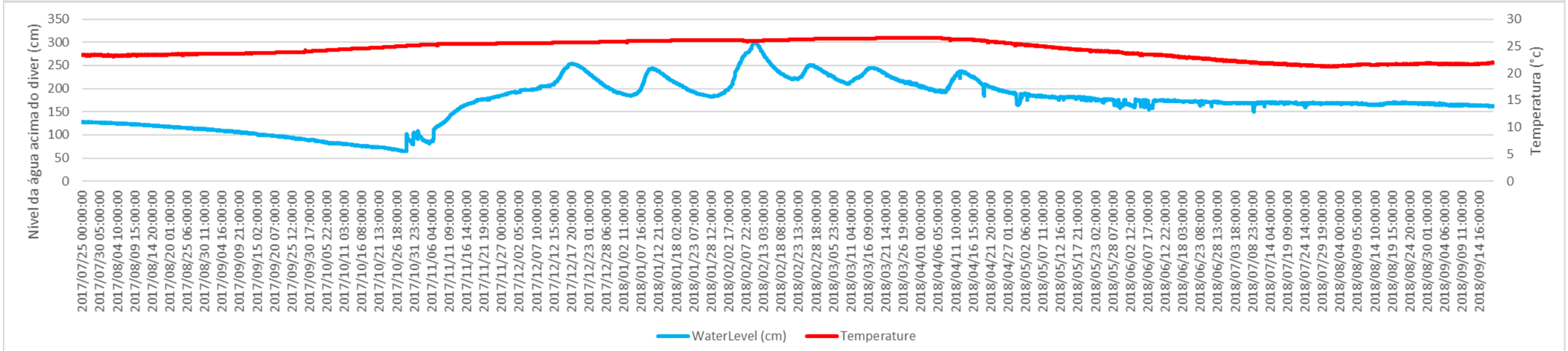
Nível da água na subunidade P2 - Médio Pantanal - Piezômetro 4 e temperatura.



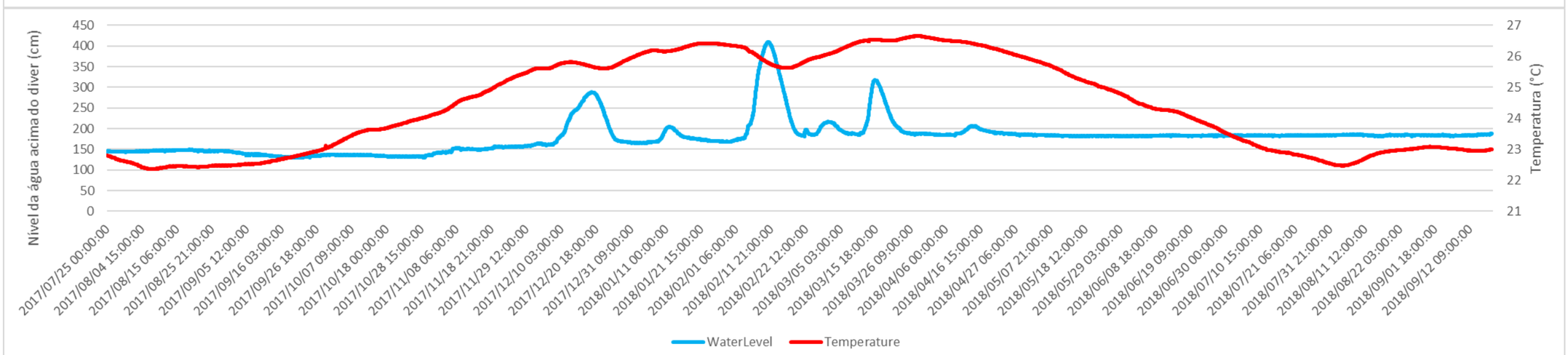
Nível da água na subunidade P3 - Baixo Pantanal - margem esquerda no Piezômetro 3 e temperatura.



Nível da água na subunidade P3 - Baixo Pantanal - margem direita no Piezômetro 2 e temperatura.



Nível da água na subunidade P4 - Foz do rio Pandeiros e Sistema de lagoas marginais do rio São Francisco - Piezômetro 1 e temperatura.



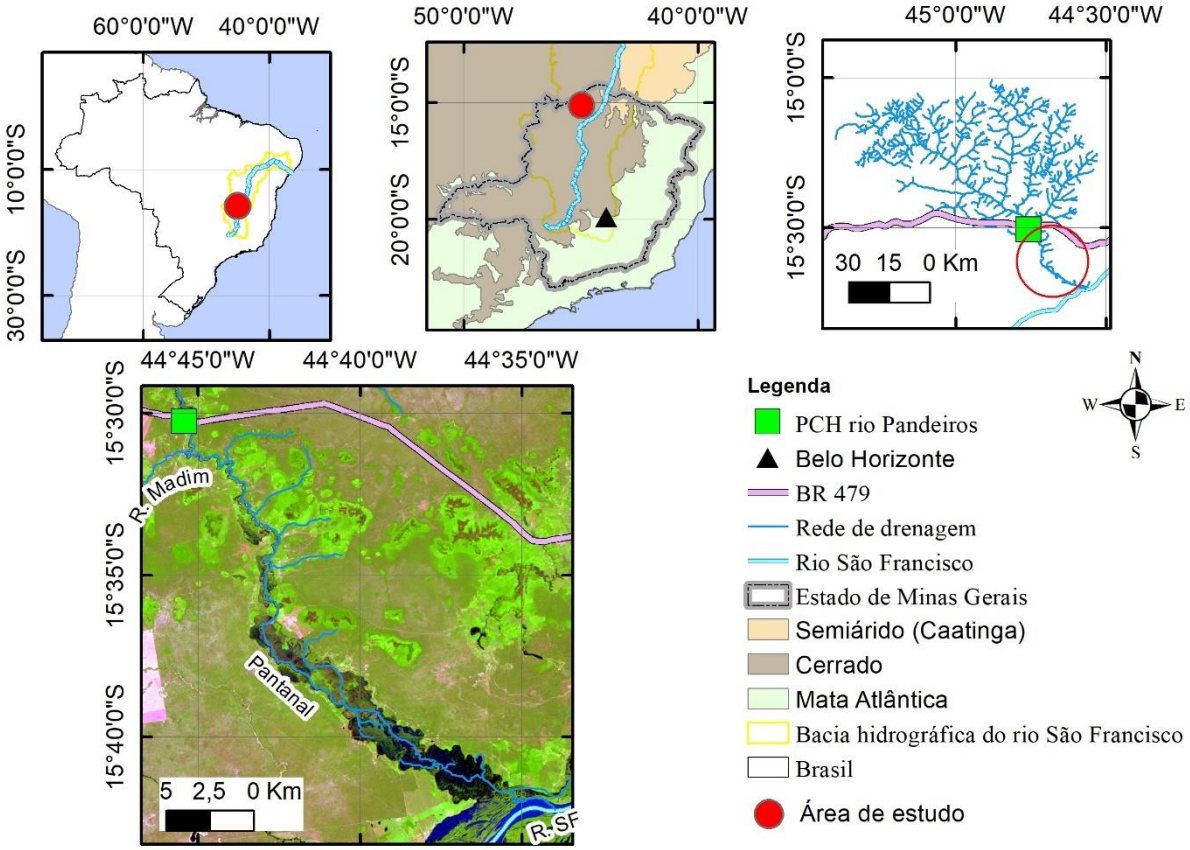
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3. Análise e discussão de aspectos hidrogeomorfológicos e de geocoberturas do PRP

5.3.1. Elementos comuns do Pantanal do rio Pandeiros (PRP)

A localização da área do PRP é indicada entre o cruzamento da BR 479 com o rio Pandeiros até sua foz no Rio São Fransico, abrangendo as coordenadas de 15° 29’ 44” S e 44° 45’ 32” O até 15° 42’ 33” S e 44° 34’ 47” O (Figura 82). A localização da área de estudo com mais detalhe indica sua posição com relação ao Brasil (Figura 82, superior à esquerda), ao estado de Minas Gerais, com a bacia do rio São Francisco e a delimitação dos biomas pelo IBGE, (Figura 82, superior ao centro), à bacia do Pandeiros (Figura 82, superior à direita) e com a área que ocupa durante inundação do Pantanal (Figura 82, inferior), com a utilização da imagem do satélite Landsat 5, sensor TM, composição R5G4B3, de 26 de janeiro de 1986.

Figura 82 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Pode-se assumir que de forma geral, a área inundável da *wetland* encontra-se localizada na planície de inundação do rio Pandeiros. Contudo, a partir da abordagem

hidrogeomorfológica que se aplica neste trabalho, é preciso considerar a importância do fluxo de água superficial e subsuperficial que é drenada a partir das vertentes compondo a dinâmica da área da bacia hidrográfica.

A planície de inundação é constituída pelos canais de drenagem (ativos e/ou abandonados), lagoas permanentes ou temporárias, sendo que a área do PRP permanece drenada durante a maior parte do ano. Eventualmente, inundando durante o período chuvoso, quando chega a abranger uma área de aproximadamente 40,85 km^2 e pode ser considerada também parte da planície de inundação do rio São Francisco.

Conforme mapeamento geomorfológico (Figura 38) realizado por Oliveira *et al.* (2017) para a bacia do rio Pandeiros, o Pantanal está localizado em dois domínios geomorfológicos: parcialmente, no domínio geomorfológico de áreas com dissecação e dinâmica medianas (Domínio 5) e inteiramente, no domínio geomorfológico da planície fluvial do rio Pandeiros-São Francisco (Domínio 6). Sua principal feição geomorfológica é a presença da *wetland* (Pantanal) e suas vertentes muito planas, sem orientação predominante e com baixíssima declividade, formando um ambiente de baixa energia, favorecendo a atuação dos processos de agradação pela deposição de sedimentos e a própria dinâmica de inundações que ocorre na foz do rio Pandeiros com o rio São Francisco.

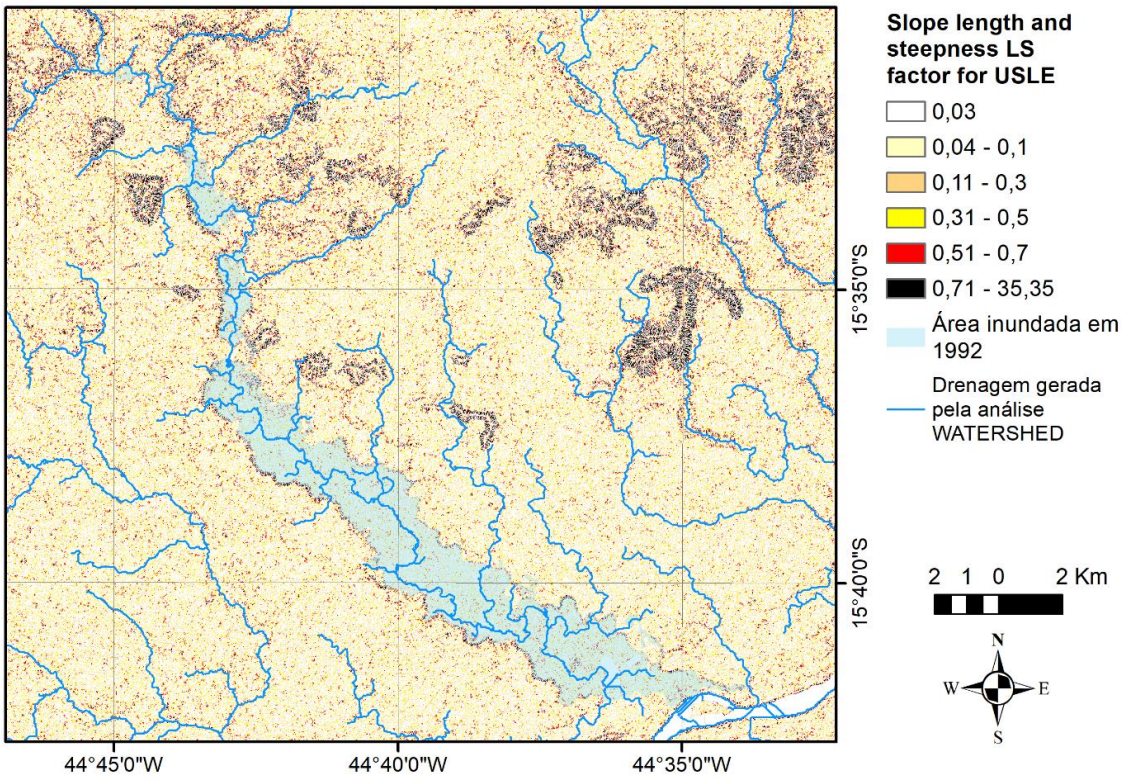
As características e a dinâmica da área do PRP aqui estudadas, referem-se à porção sujeita a inundação, bem identificada e delimita com base nas informações geológicas e altimétricas, uma vez que estas refletem a distribuição das geocoberturas. Estas, por sua vez podem ser diferenciadas principalmente pelas alterações na vegetação, que discriminam claramente o limite entre as áreas drenadas e as mal drenadas, marcadas em grande parte do perímetro do Pantanal, pela presença de fortes rupturas de declive (Figura 83). As vertentes drenadas são cobertas por uma mistura de fitofisionomias de vegetação de Cerrado, vegetação xeromórfica, Caatinga e Mata Mesofítica (SALES, *et al.*, 2009).

A partir do índice *Slope length and steepness (LS) factor for the Revised Universal Soil Loss Equation (USLE)*, calculado a partir do comprimento da vertente e do gradiente da vertente, foi possível identificar mudanças sutis do relevo. Foi, então, elaborado um mapa do PRP que marca o limite entre as áreas permanentemente drenadas e as áreas temporariamente inundadas da planície do Pantanal, que é marcada por uma ruptura de declive presente em quase todo o seu perímetro. Ela é mais forte na margem direita do Pantanal, apesar de existir, menos acentuada, também na margem esquerda. Por meio da resolução espacial e altimétrica de 12,5 m do sensor ALOS-PALSAR, foi possível compor o limite desta feição, que é importante, pois

condiciona toda a área inundada no PRP representada no mapa da Figura 83. Ela é que caracteriza o Pantanal como um tipo de depressão, com limites bem definidos que impedem, inclusive um grande extravasamento lateral no sentido leste-oeste das águas durante suas inundações, independentemente da magnitude delas.

Dessa maneira, as principais variações da água durante as inundações do Pantanal, são longitudinais, no sentido norte-sul, formando diferentes profundidades da lâmina d'água, mas sempre confinadas nesta depressão (Figura 83). O mapa da figura 83 indica, por meio dos valores mais elevados (acima de 0,51) e pela coloração mais escura, os locais de menor comprimento da vertente, associados à inclinação, indicando forte ruptura de declive nas margens do Pantanal, especialmente na margem direita.

Figura 83 - Mapa Slope length and steepness LS factor for USLE.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A atual foz do rio Pandeiros, no sistema de diques marginais do rio São Francisco, é marcada pela presença de um canal bem definido do rio Pandeiros (Figura 47). Durante os episódios de inundação de grande intensidade do PRP, no entanto, este canal desaparece, e as águas do rio Pandeiros tendem a se espalhar por vários outros canais, lagoas e meandros do sistema de lagoas marginais, como pode ser observado pela orientação dos canais de drenagem definidos pela análise de *Watershed* (Figuras 82, 83 e 86). Sem a presença deste canal

concentrado de drenagem, o PRP poderia se tornar uma espécie de lagoa, devido às margens definidas pela ruptura de declive (Figura 84), inclusive próximo à foz.

Figura 84 - Fotografia da margem direita do PRP, na transição entre a vertente e a planície de inundação, na subunidade P3 – Baixo Pantanal, ilustrando a ruptura de declive mais íngreme, característica do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

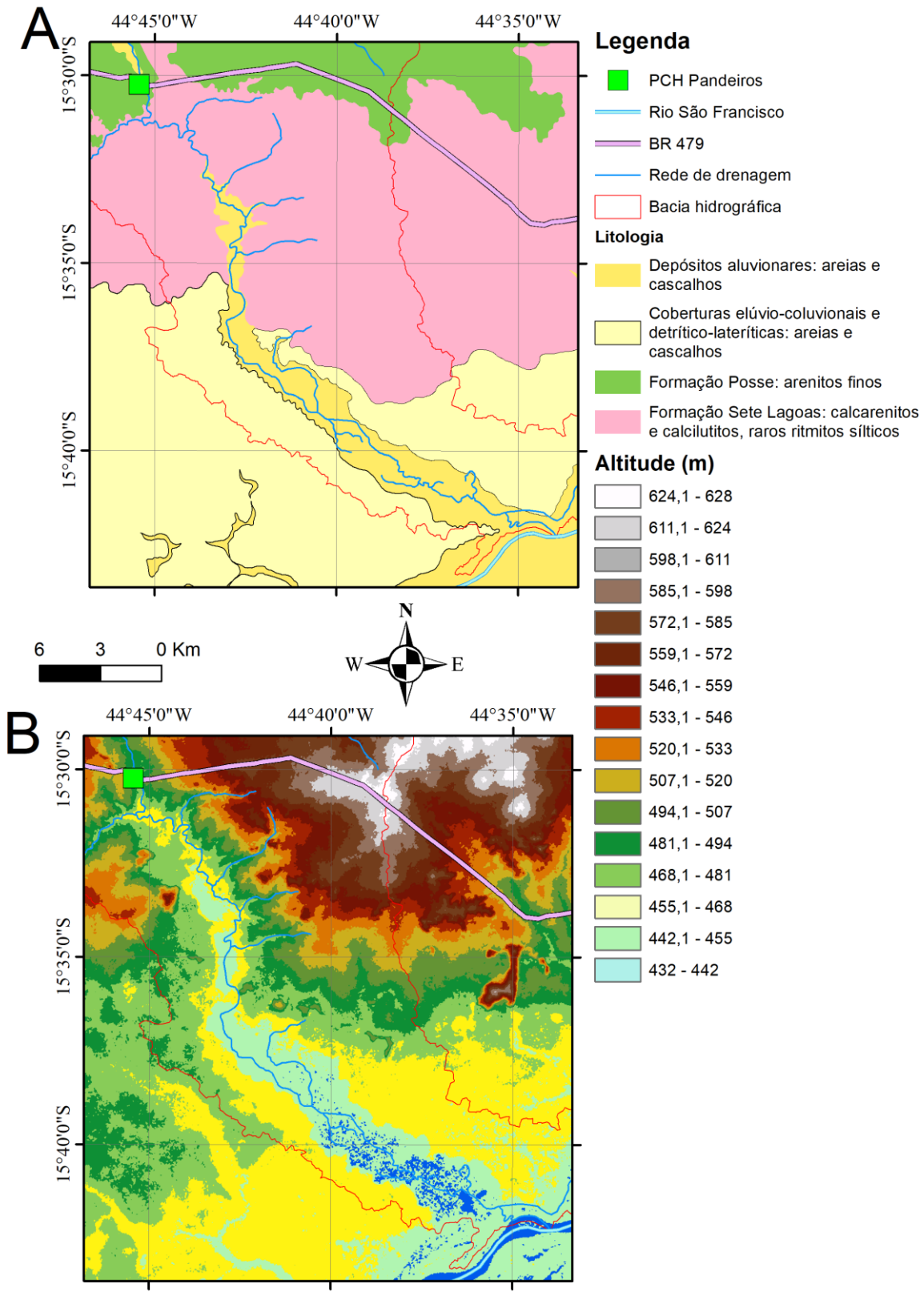
Grande parte do substrato geológico do PRP é formado pelas rochas da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí, subdividida nos Membro Lagoa Santa e Pedro Leopoldo, com destaque para as áreas mais elevadas das porções ao norte (Figura 85). A maior parte dos afloramentos são de rochas do Membro Lagoa Santa, formadas por calcários calcíticos negros até cinzentos, tipo calcareníticos (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015c), associadas à ocorrência de relevo cárstico, limitado por escarpas verticais.

A base geológica do Pantanal tem uma contribuição dos arenitos da Formação Posse do Grupo Urucuia, (Figura 85A), limitados à porção norte, ou seja, a montante do rio Mandim (15° 30’ S), formando afloramentos nas nascentes de canais de drenagem temporários, com a presença de voçorocas. Ao sul de 15° 32’ S, ocorrem as coberturas detríticas indiferenciadas (Figura 85A), distribuídos na forma de um arco, ou faixa, mais extensa a oeste, tornando-se mais estreita a leste. Estes materiais constituem a maior cobertura areal do substrato geológico sobre as vertentes drenadas da área. Ela é formada por vários tipos de depósitos aluvionares predominantemente arenosos contendo, eventualmente, níveis de cascalho encontrados em

terraços de um relevo muito plano, mas topograficamente situado acima dos depósitos aluvionares atuais da planície de inundação do PRP (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015c).

Esses materiais aluvionares depositados mais recentemente formam, em grande parte, o substrato da área potencialmente inundável da *wetland*, a jusante da foz do rio Mandim (15° 30’ S), sendo constituídos de cascalho, areia com diversas granulometrias e, eventualmente bancos de argila, que podem chegar a até 10 m de espessura (MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG, 2015c).

Figura 85 - Mapa litológico e do relevo da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As áreas mais baixas do Pantanal, que poderiam ser caracterizadas como depressões encontram-se entre 432 m e 442 m, o que inclui o canal do rio São Francisco, que é o nível de base local (Figura 85B). Logo a montante do dique marginal do rio São Francisco, estas depressões ocupam grande área, na forma de lagoas permanentes e lagoas temporárias, separadas por um sistema de meandros abandonados em torno de 15°40’ S.

Margeando esta depressão, as áreas na classe de relevo entre 442 m e 455 m ocupam boa parte do PRP, que correspondem, em grande parte, à distribuição da cobertura litológica dos depósitos aluvionares atuais (Figura 85A). Ela se estende de norte a sul, e é mais contínua no centro da área de estudo, onde são encontradas algumas lagoas permanentes, muitas lagoas temporárias e vários meandros, ativos e abandonados. Ao se aproximar das áreas de depressão, o canal do rio Pandeiros transforma-se, de um canal concentrado ao norte, em um sistema muito disperso a sul (Figura 85).

O mapa da figura 85B permite ainda identificar na porção centro-norte do PRP, entre o paralelo de 15º 30’ S, dois tipos de feições transversais ao canal do rio Pandeiros: as com altitude entre 442 m até 455 m, formando uma espécie de depressão, e aquelas com elevações entre 455 m até 468 m de altitude, que formam uma espécie de áreas elevadas que dificultam a circulação das águas nas áreas mais baixas, caracterizando uma feição semelhante à *poljes* de pequena dimensão. Neste local, a largura do PRP é mais estreita em direção a norte, mesmo assim inundável, contendo várias lagoas temporárias e muitos meandros abandonados.

Acima de 455 m, estão as vertentes drenadas do PRP, inundáveis apenas durante a ocorrência pulsos de inundação de grande magnitude e intensidade no rio São Francisco. Estas encostas drenadas alcançam altitudes de 628 m, e estão localizadas na porção nordeste do mapa de relevo da figura 85B, formando o interflúvio entre bacia do Pandeiros e dos demais canais que drenam diretamente para o rio São Francisco, ou para o sistema de lagoas marginais em direção ao Sul.

Todos os interflúvios da margem direita da *wetland* são topograficamente rebaixados em até 100 metros de altitude, em relação aos da margem esquerda, principalmente ao norte da *wetland* (Figura 85B). Ao sul, as altitude tem menor discrepância, mas o comprimento das vertentes, partindo do interflúvio até a planície de inundação, é maior na margem esquerda do que na margem direita.

Outra característica do PRP é ausência de afluentes em sua margem direita, excetuando-se rio Mandim, que é um afluente temporário, a montante. Já na margem esquerda, observa-se vários afluentes, embora todos temporários, sendo que a maior parte, principalmente os quatro

canais ao norte (Figura 85B), encontram-se localizados em áreas de maior amplitude topográfica e contato com diferentes litologias (LIMA, 2019), tendo na nascente um sistema de várias voçorocas, de modo similar à nascente do rio Pandeiros.

Todos os afluentes do rio Pandeiros, na região do PRP, estão localizados nos domínios das rochas da Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí. Isto indica que se trata de uma área suscetível à formação de canais de drenagem que podem ser afetados pelas condições de circulação da água subterrânea, típica de áreas cársticas. Próximos ao canal do rio São Francisco e do PRP, parece ocorrer dificuldade para desenvolvimento de canais de drenagem, uma vez que o substrato é composto pelos depósitos aluvionares areníticos, muito permeáveis.

A partir da análise integrada das informações da cobertura geológica e do padrão de relevo da área do PRP, foram delimitadas as subunidades hidrogeomorfológicas P1, P2, P3 e P4, que apresentam padrões de heterogeneidade entre si, podendo implicar em diferentes processos hidrogeomorfológicos existentes em cada uma (Figura 86). Estas subunidades podem ser consideradas representativas dos diferentes ambientes do PRP, uma vez que, como foi discutido, não se trata de uma área homogênea em termos de dinâmica de circulação de matéria e energia.

A subunidade P1 (Figura 86), representada pelo perfil topográfico P1 (Figura 87) compreende à porção setentrional do PRP, tendo seu limite à montante a foz do rio Mandim, e à jusante, a porção ao sul do paralelo 15°35’ S. Ela possui um relevo muito característico do PRP, com altitude máxima abaixo de 500 m na margem direita, e na esquerda até 572 m. A largura da planície de inundação alcança menos de 1 km de extensão, e encontra-se próxima da cota de 450 m de altitude. Em termos de dinâmica, esta subunidade parece representar uma área que, no passado, apesar de ainda não haver datação dos sedimentos, era muito mais suscetível à inundação. Isto pode ser interpretado a partir da presença de feições de relevo, tais como, lagoas e meandros que, atualmente, são inundadas apenas temporariamente, por exemplo, no entorno da área de coordenadas geográficas 15° 33’ 15,66” S e 44° 43’ 37, 44” O (Figura 86).

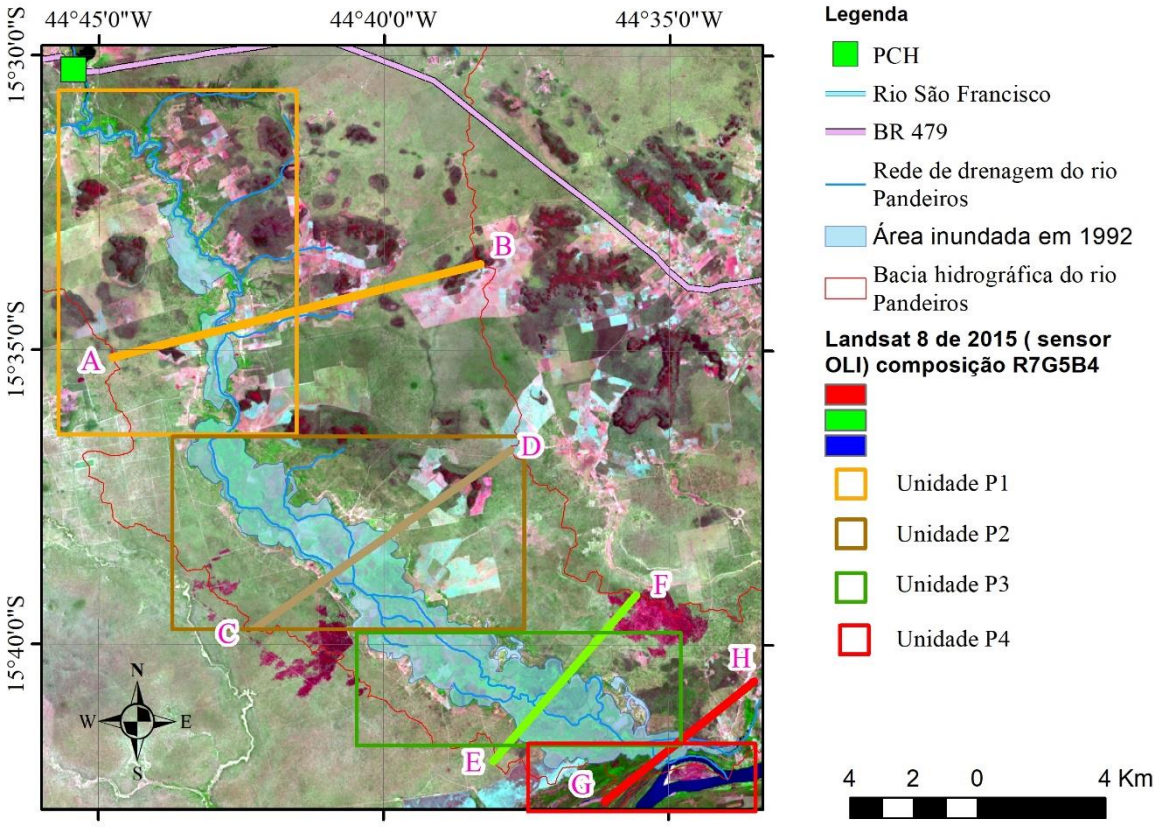
Por ser uma das primeiras áreas localizadas longitudinalmente, a montante do PRP, a serem inundadas, ela tende a receber um grande aporte de sedimentos, podendo ter sido assoreada nos anos mais recentes, como após a operação da PCH do rio Pandeiros. O principal fator responsável pela inundação, como demonstrado neste estudo, é o próprio rio Pandeiros, quando este, durante os pulsos de inundação, extravasa seu dique marginal e alcança estas margens. Provavelmente devido à presença de feições mais elevadas (455 a 468 m) nesta área, formando uma espécie de barragem (Figura 85B e 86), ocorre um atraso no escoamento rápido

destas lagoas e meandros. Porém, em vários segmentos do rio, o canal está muito encaixado, como pode ser observado na figura 13.

A subunidade P2 (Figura 86), representada pelo perfil topográfico P2 (Figura 87), ocupa uma área muito grande na *wetland*, correspondendo à porção na qual o PRP apresenta um aumento da sua dimensão lateral. Nela, o rio Pandeiros ainda está concentrado em um único canal, mas nas suas margens, como pode ser observado na Figura 13, e na planície de inundação, ocorrem inúmeros meandros abandonados e lagoas temporárias. Esta subunidade tem vertentes na margem direita, com elevação máxima de 480 m e 460 m e na margem esquerda, altitudes entre 470 m até próximo de 500 m (Figura 87), onde se infere, através da análise do perfil topográfico (Figura 87, Perfil P2), a ocorrência de terraços em longos segmentos, nos patamares de 460 m a 470 metros nas duas margens. A planície de inundação atual desta subunidade está situada em uma elevação abaixo de 445 m, inundada apenas durante as grandes cheias do rio Pandeiros e do rio São Francisco e secando a partir do mês de abril, segundo relatos dos moradores locais.

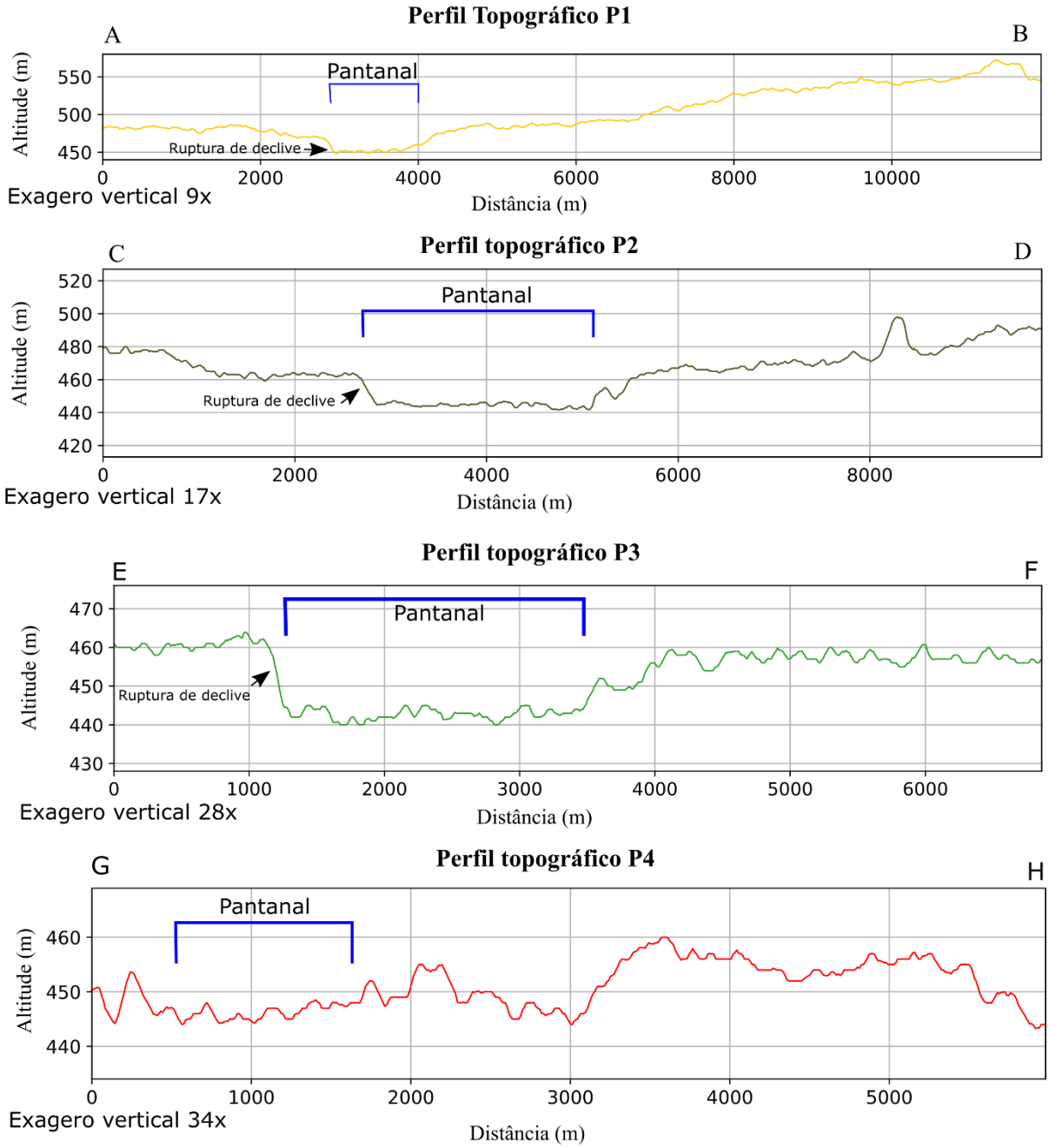
A subunidade P3 (Figura 86) representada no perfil topográfico P3 (Figura 87), é a paisagem mais divulgada do PRP, pois é nela que se encontra o maior número de lagoas permanentes e onde o canal do rio Pandeiros se dispersa (Figuras 86 e 13). É limitada, ao sul, pelo sistema de lagoas marginais que formam o dique marginal do rio São Francisco, e é onde o rio Pandeiros se concentra em um único canal novamente. Nas margens direita e esquerda, a altitude máxima é próxima de 460 m, e a largura das vertentes drenadas, indica a existência de terraço. A transição entre a área úmida e a área drenada é mais abrupta, principalmente na margem direita, marcada por forte uma ruptura de declive. A largura da planície de inundação atinge 2,5 km em média, com altitudes entre 445 m e 440 m.

Figura 86 - Mapa das subunidades hidrogeomorfológicas do PRP e imagem de satélite Landsat 8, sensor OLI, composição R7G5B4 de 4 de dezembro de 2015, com o PRP drenado.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 87 - Perfis topográficos representativos das subunidades hidrogeomorfológicas do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

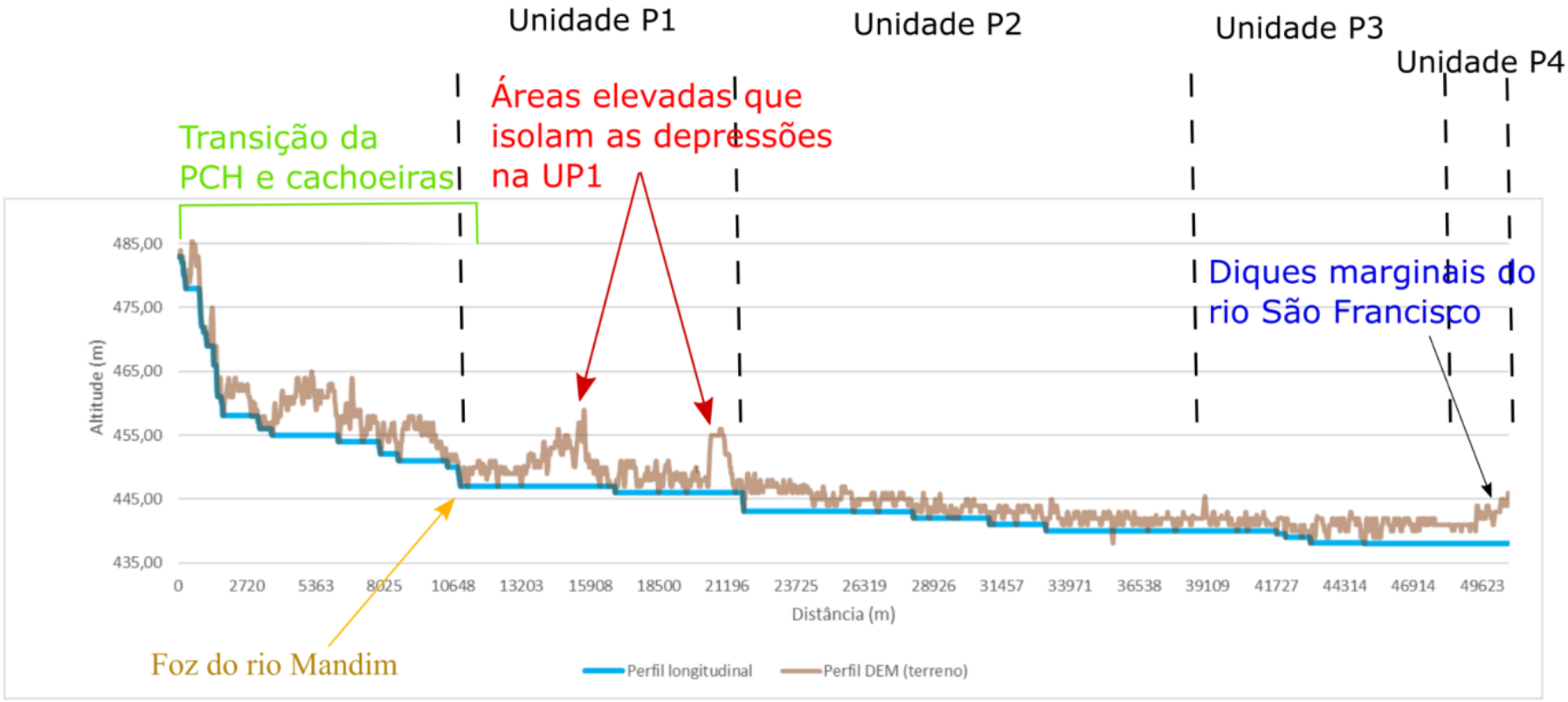
A subunidade P3 é a área mais ativa e dinâmica do PRP, com inundações anuais frequentes durante cada um dos pulsos de inundação do rio São Francisco ou do rio Pandeiros. Possui um número muito grande de lagoas permanentes, inúmeros meandros abandonados do próprio rio Pandeiros e entre as lagoas, há a presença de terraços, separados por meandros abandonados, que variam, segundo a sua altura e umidade, dependendo da vegetação existente.

A última subunidade, P4 representa uma transição entre a foz do rio Pandeiros, seu PRP e o sistema de lagoas marginais do rio São Francisco (Figura 86). O relevo nesta subunidade é muito dissecado, sendo composto por várias lagoas; é onde as águas do rio Pandeiros voltam a se concentrar em um só canal (Figuras 85 e 86). O perfil topográfico P4 (Figura 87, perfil P4) indica a presença de elevações em torno de 460 m a 443 m nas duas margens, com as vertentes mais elevadas na margem esquerda, em decorrência da quantidade de canais e lagoas existentes. Esta subunidade, constitui uma área elevada em relação ao seu entorno, e pode ser considerada como um conjunto de diques marginais do rio São Francisco, dificilmente inundada, o que acontece somente nos grandes pulsos de inundação deste rio.

Na figura 88 é apresentado o perfil longitudinal do baixo curso do rio Pandeiros, com início no lago da PCH do rio Pandeiros até sua foz no rio São Francisco. É possível identificar no início do perfil, rupturas de declive causadas pela sucessão das cachoeiras no rio Pandeiros e, de forma abrupta, uma mudança no perfil do rio, próximo a foz do rio Mandim. A partir deste ponto, o rio tende a manter um perfil com inclinação constante, variando de 460 m a 440 m.

Nota-se, a uma distância de cerca de 15 km e 22 km a partir do início do perfil (Figura 88), algumas elevações topográficas, entre 455 m até 468 m, semelhantes à *poljes.* No final do perfil, a partir dos 40 km, é possível identificar uma sutil depressão no perfil do rio, representativa da subunidade P3, onde existe o maior número de lagoas e na qual as áreas de depressão são maiores. Na foz do rio Pandeiros, o relevo volta a se elevar, formando a subunidade P4, onde estão os diques marginais do rio São Francisco e o sistema de lagoas marginais.

Figura 88 - Perfil longitudinal do baixo curso do rio Pandeiros, com início na barragem da PCH até a foz no rio São Francisco.



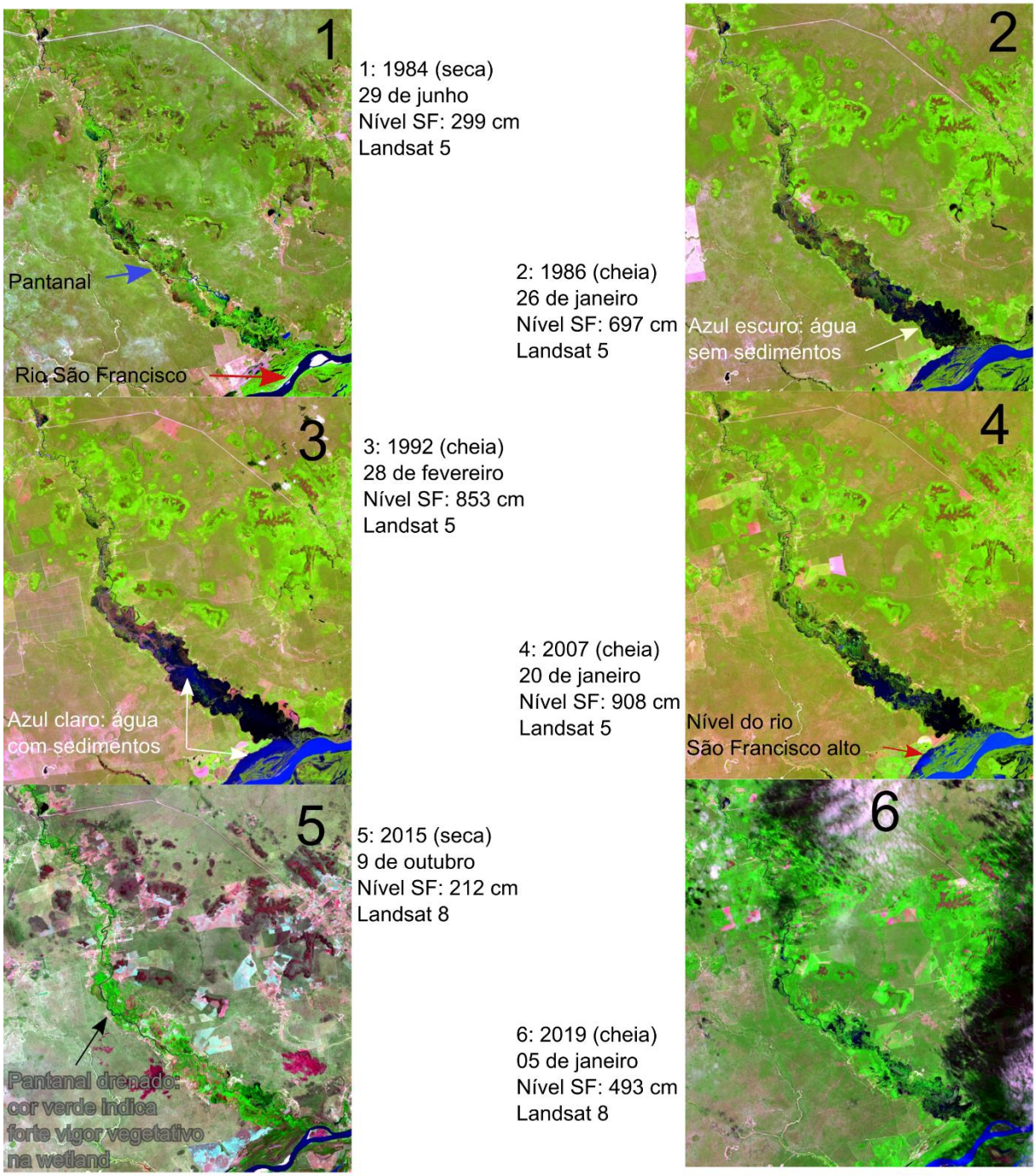
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.2. Caracterização da dinâmica hidrogeomorfológica do PRP

A área do PRP possui uma dinâmica muito intensa. As imagens do satélite Landsat apresentadas na figura 89 mostram como a paisagem muda em função do período do ciclo hidrológico, seco ou úmido e, principalmente, durante o período de inundação. Do mesmo modo, a série de modelos de dinâmica hidrogeomorfológica elaborados neste trabalho (Figuras 90, 91, 93, 94, 95), permite a visualização esquemática dos diferentes estágios dos pulsos de inundação da *wetland*, na escala de tempo estudada.

Os modelos 1 e 5 da figura 89, que mostram o PRP durante os momentos de seca nos anos de 1984 e 2015, é possível associar as manchas escuras, às áreas com maior umidade, tais como lagoas permanentes ou temporárias, todas com o nível freático muito próximo à superfície. Além disso, o vigor vegetativo, representado pelos tons de verde na área permitem afirmar que, mesmo durante o período de seca, quando o PRP não está inundado, a vegetação da planície de inundação encontra-se adaptada às condições de hidromorfia, distribuindo-se em diferentes fitofisionomias na área, conforme maior ou menor proximidade com o nível da água.

Figura 89 - Comparação temporal com imagens do satélite Landsat entre os períodos de cheia e seca.

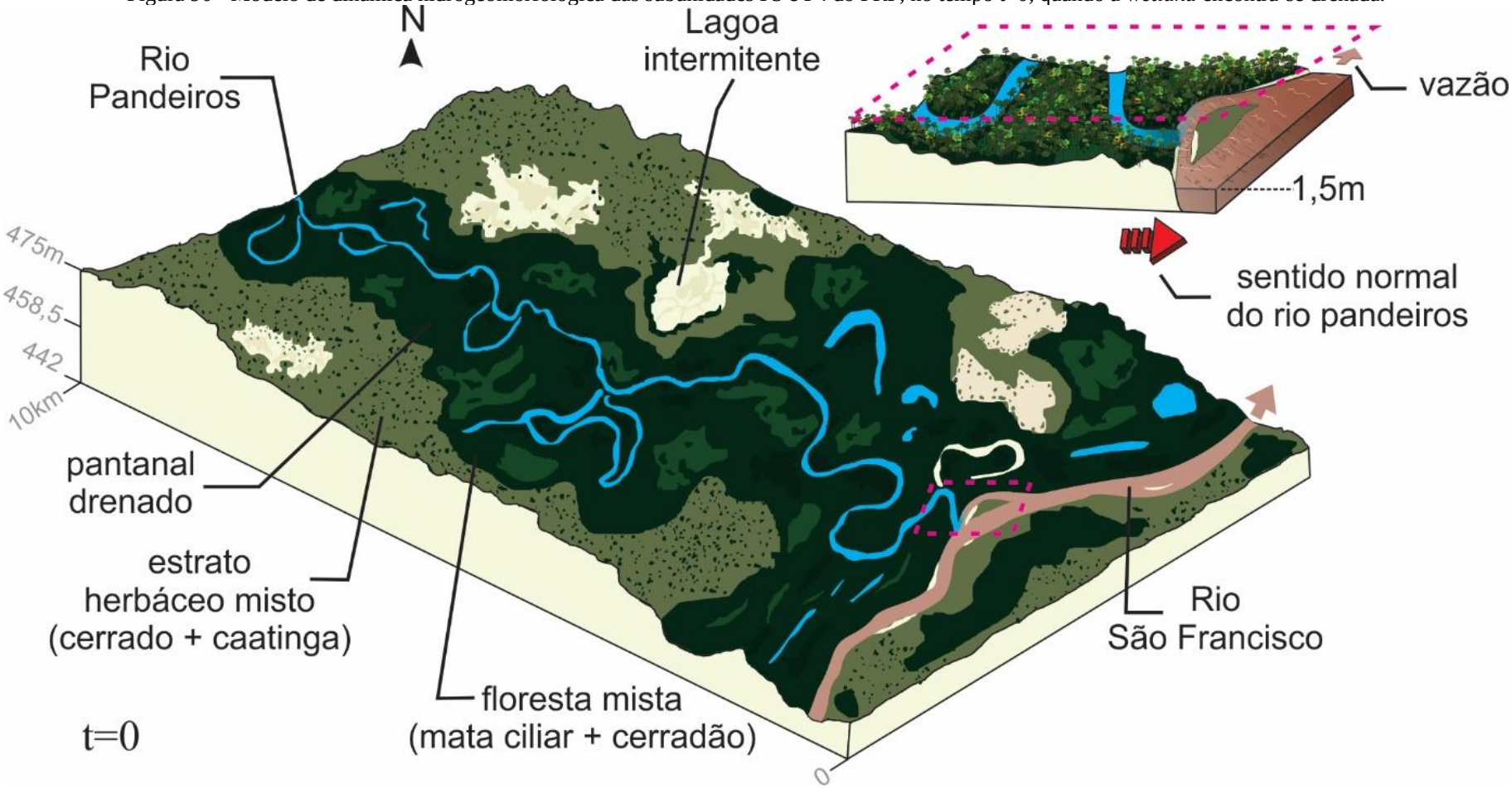


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Portanto, quando o nível do rio São Francisco está baixo (abaixo de 500 cm), o nível de base do rio Pandeiros induz a que toda a descarga líquida da bacia do rio Pandeiros seja transferida para o rio São Francisco. O modelo da figura 90 representa a dinâmica hidrogeomorfológica nesta fase drenada, aqui também identificada como tempo zero (t = 0). Esta fase é a que apresenta maior duração ao longo do ano hidrológico e é a que ocorre principalmente nas subunidades P4 e P3; as subunidades P1 e P2 não se encontram representadas neste modelo, por questões de escala.

Durante os episódios de elevação do nível das águas do rio São Francisco, como pode ser observado na figura 89 (cenas 2, 3, 4 e 6), ocorre também uma alteração temporária do nível da água do rio Pandeiros na foz. Esta alteração efêmera do nível da água provoca consequências na vazão líquida no interior do Pantanal, pois, como se trata de uma depressão, a única saída de água do Pantanal é o canal concentrado do rio Pandeiros na subunidade P4.

Figura 90 - Modelo de dinâmica hidrogeomorfológica das subunidades P3 e P4 do PRP, no tempo t=0, quando a *wetland* encontra-se drenada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Quando ocorre elevação do nível da água na foz do rio Pandeiros, causada pela elevação do nível das águas do rio São Francisco, o PRP começa imediatamente, a armazenar água até que o nível do rio São Francisco volte a baixar e assim, possibilitar a vazão líquida do rio Pandeiros em direção a sua foz, conforme pode ser verificado no modelo hidrogeomorfológico t =1 (Figura 91).

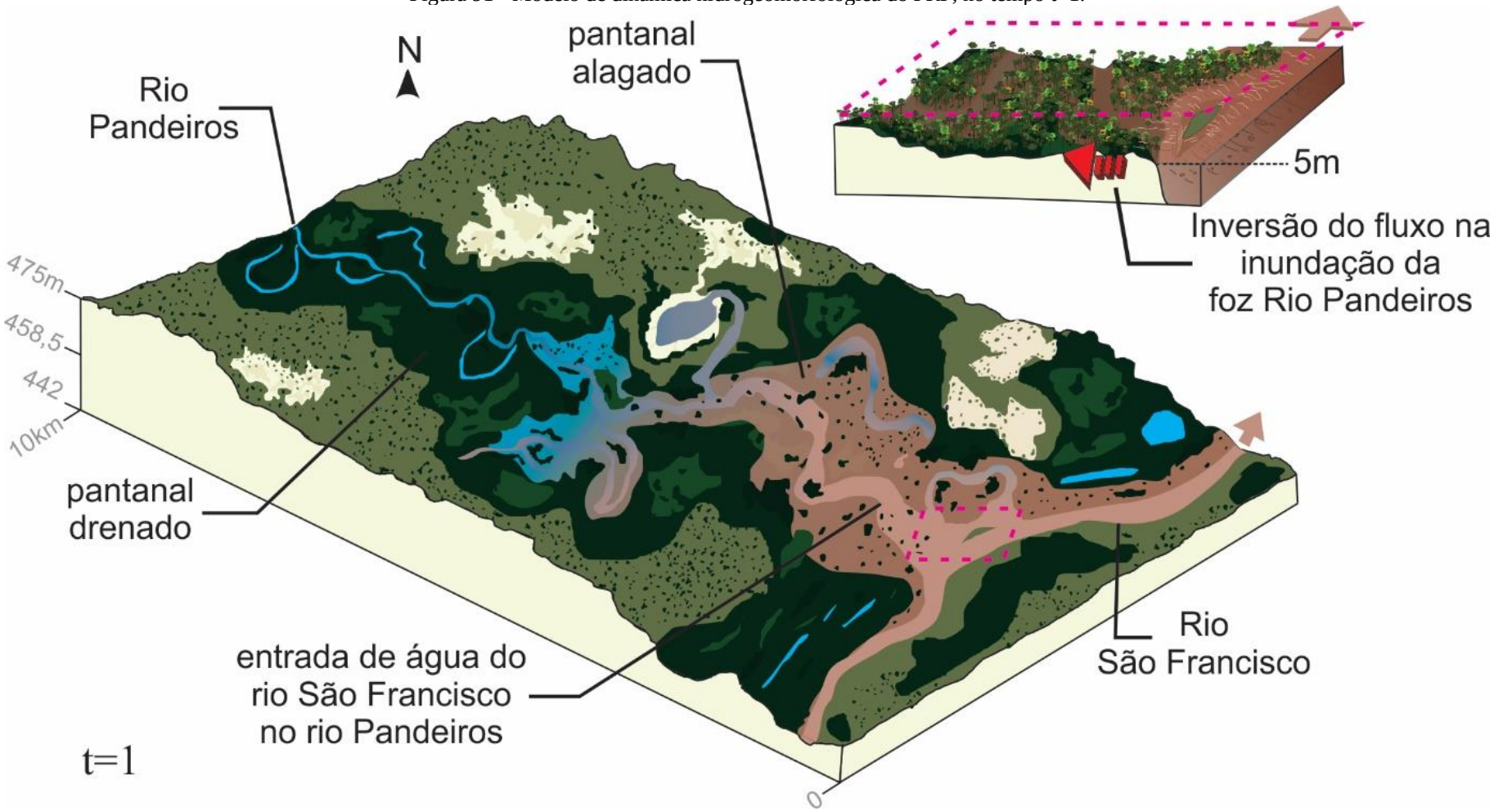
A imagem de satélite que melhor representa o exato momento do t =1 é da figura 89 (cena 6), em que o pulso de inundação está começando, com o nível do rio próximo a 500 cm. Do mesmo modo, a figura 92 possibilita identifica esta dinâmica, mesmo representando o pulso de inundação em outras fases.

A imagem de satélite (Figura 92) registra os efeitos da dinâmica dos sedimentos que acompanham a da água. Assim, na área próxima à foz do rio Pandeiros, correspondente a subunidade P3 do PRP, o tom azul escuro indica a presença de uma água sem sedimentos, o que revela uma função extremamente importante das *wetlands*, que é a retenção de sedimentos. Na mesma imagem, as águas do rio São Francisco, que estava com um nível muito elevado, extrapolando suas margens em direção as lagoas marginais, inundando a subunidade P4 do PRP, voltam a ter a tonalidade azul mais claro, pois estão carregadas de sedimentos provenientes de todo o seu alto curso marcando claramente a dinâmica de circulação das águas oriundas do próprio rio São Francisco para o rio Pandeiros, já limpas dos sedimentos da bacia deste rio, em tons de azul escuro (Figura 92).

O que se percebe, é que há uma variação na área inundada do Pantanal, ao longo do eixo do canal do rio Pandeiros, ou seja, partindo da sua foz a depender da cota atingida pelas águas do rio São Francisco, o que afeta as porções ao norte da depressão do PRP, podendo estarem mais ou menos inundadas. Isto pode observado também na figura 89, (cena 6, registrada no dia 5 de janeiro de 2019, quando o nível do rio São Francisco na estação fluviométrica 44200000 atingiu o nível de 493 cm, o que deu início à inundação de uma área ao sul do PRP, próxima da confluência do rio Pandeiros com o São Francisco.

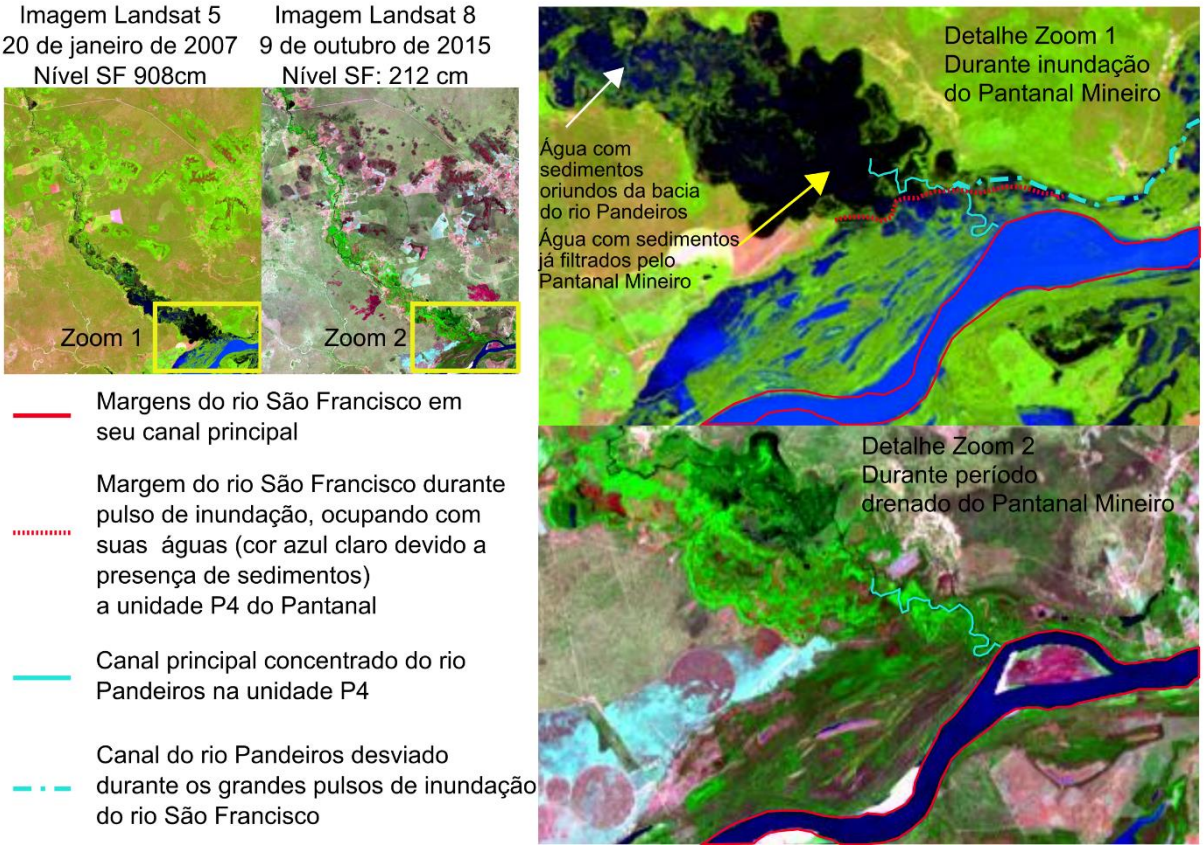
A altura do nível das águas do rio São Francisco é muito importante neste processo, pois, a depender da magnitude do pulso de inundação e da duração, as áreas do PRP podem ser mais ou menos inundadas. No entanto, como se trata de uma depressão em que boa parte do perímetro é marcada por rupturas de declive (Figuras 83 e 84), a variação lateral da área inundada do PRP não sofre grande mudança; apenas a profundidade da lâmina d´água sofre maior alteração entre as subunidades P4, P3, P2 e P1, de forma longitudinal.

Figura 91 - Modelo de dinâmica hidrogeomorfológica do PRP, no tempo t=1.



Ilustra a fase quando o nível da água do rio São Francisco aumenta, criando condições para a inundação da *wetland*, com suas águas. Cota de 5 m na estação fluviométrica de São Francisco.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 92 - Detalhes da dinâmica de circulação da água na foz do rio Pandeiros, durante um grande pulso de inundação do rio São Francisco, mostrando a influência deste na manutenção e desenvolvimento do PRP.

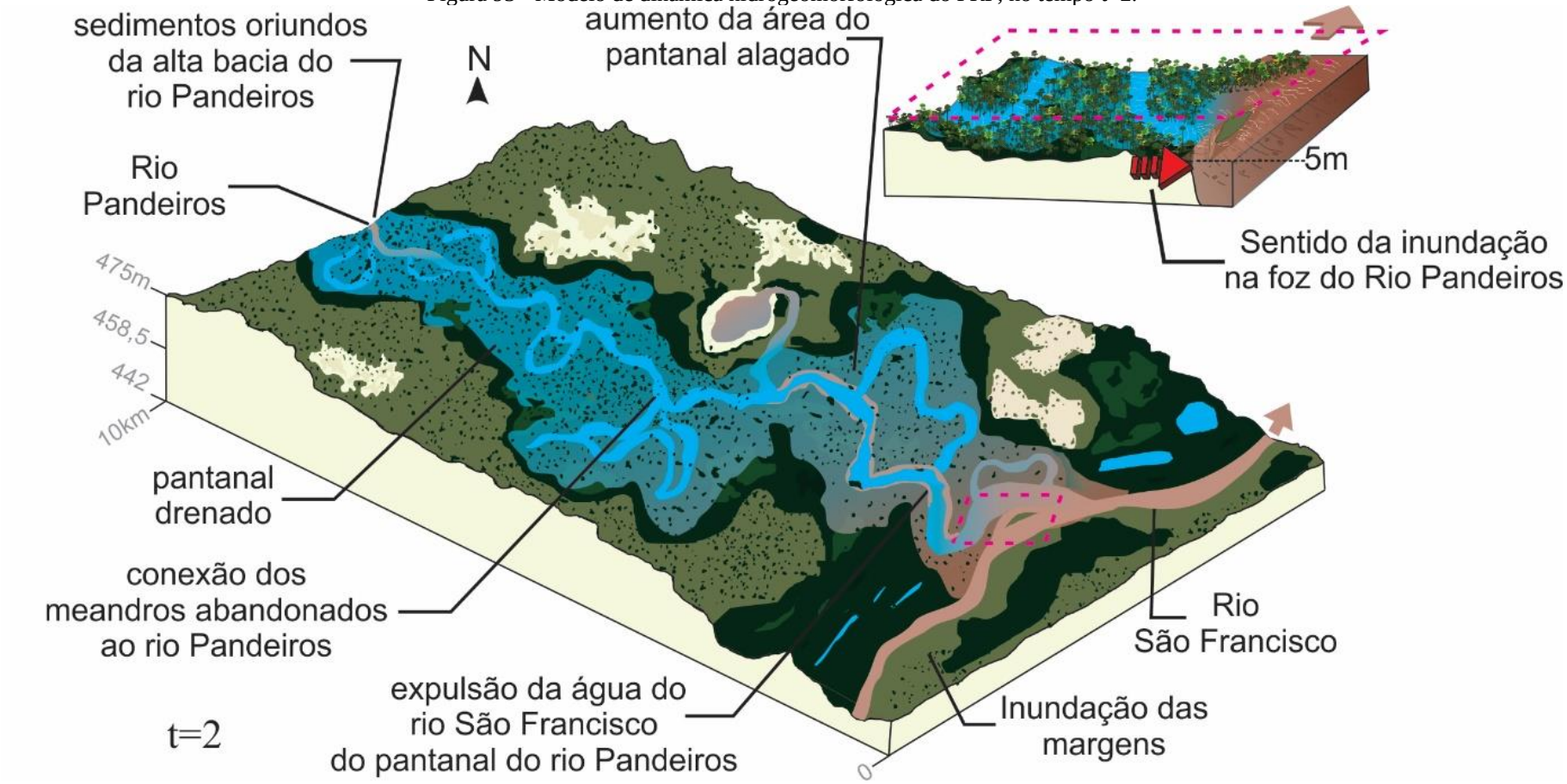


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Outra informação muito importante registrada nas cenas das imagens de satélite Landsat é a característica da água do rio Pandeiros a jusante do PRP e no rio São Francisco. Por exemplo, na figura 89 (cena 3), durante um episódio de inundação do PRP, pode-se verificar que as águas provenientes da bacia do rio Pandeiros, encontram-se carregadas com sedimentos, representados pelos tons de azul mais claro no centro da área inundada, com grande dispersão na subunidade P2 do Pantanal.

Esta dinâmica pode ser ilustrada por meio do modelo hidrogeomorfológico t=2, (Figura 93), quando o nível das águas do rio São Francisco durante o pulso de inundação ainda pode ser considerado baixo (até 7 m), após a alteração temporária deste nível e com esta sua permanência no mesmo nível ou aumentando, mantêm a condição para a inundação da *wetland*.

Figura 93 - Modelo de dinâmica hidrogeomorfológica do PRP, no tempo t=2.

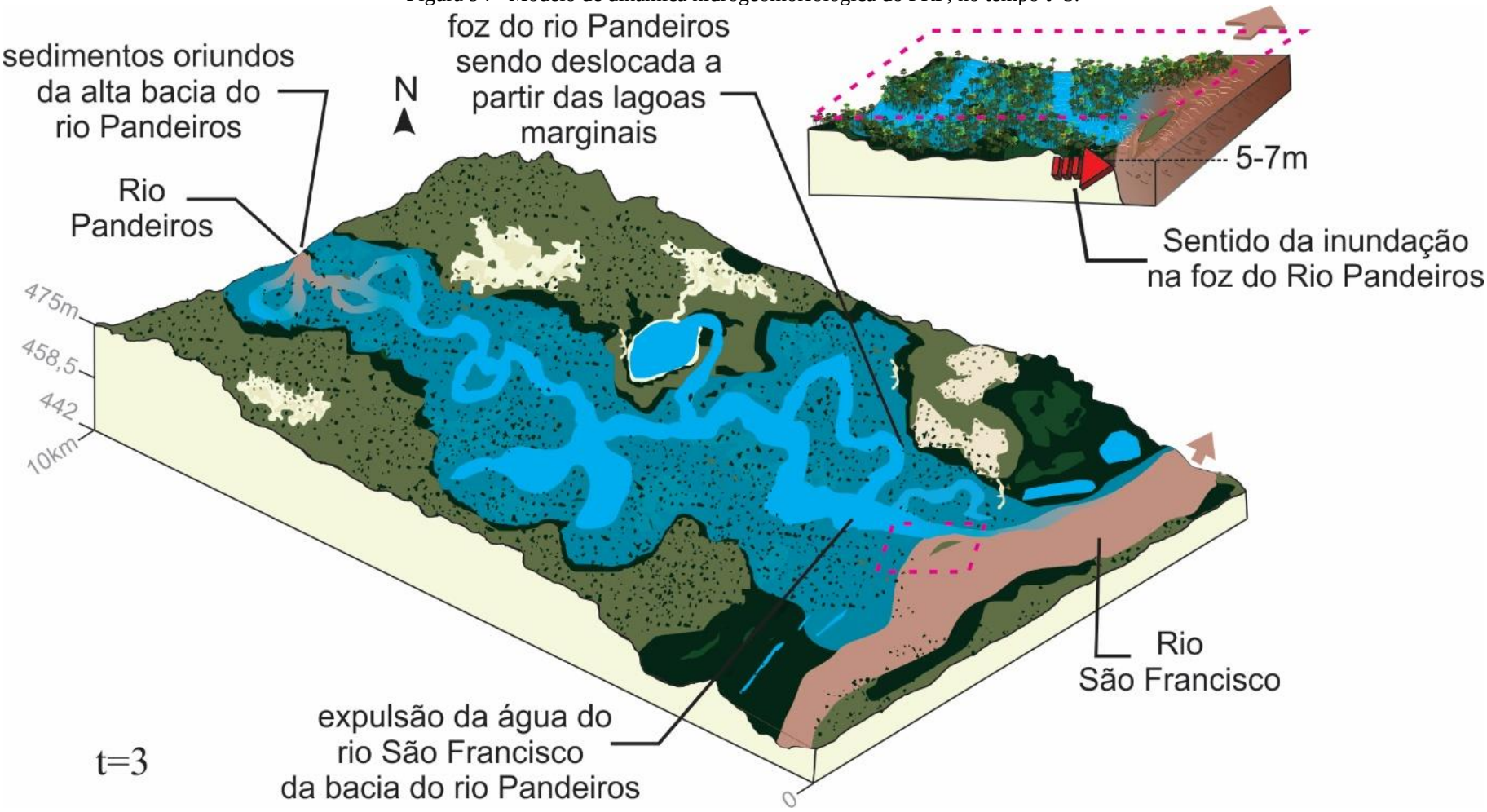


Ocorre quando o nível da água é alterado, permanece o mesmo, ou aumenta, mantendo a condição para a inundação da *wetland*. Contudo, a depender da vazão do rio Pandeiros, a água do rio São Francisco começa a ser expulsa da *wetland*.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Contudo, nesta fase, a depender da vazão do rio Pandeiros e da duração do nível, a água do rio São Francisco começa a ser expulsa da *wetland* devido ao acúmulo da vazão do rio Pandeiros, que fica sendo represada no PRP e vai formar uma espécie de barragem hidrodinâmica em sua foz, expulsando as águas provenientes do Rio São Francisco na medida em que o volume no PRP se torna predominante, com águas do rio Pandeiros já limpas de sedimentos, como serviço ambiental prestado pela *wetland*, conforme ilustrado no período do modelo hidrogeomorfológico t=3 (Figura 94).

Como discutido anteriormente, esta influência do nível do rio São Francisco para a formação e desenvolvimento do período de inundação do PRP não pode ser considerada como única variável, ou independente, para as inundações do PRP, pois, a vazão do rio Pandeiros, que drena uma grande área, também é responsável por gerar pulsos de inundação, conforme mostrado no modelo da figura 94, quando ocorrem grandes volumes de precipitação na área desta bacia, podendo levar a inundação do PRP, principalmente nas subunidades P1 e P2. Apesar disso, a condição de elevação do nível da água do rio São Francisco acima de 500 cm na estação fluviométrica de São Francisco é considerada essencial para promover a inundação do PRP, criando as condições físicas que permitem a acumulação da água nas subunidades P4, P3, e P2, a depender da magnitude da elevação da cota.

Figura 94 - Modelo de dinâmica hidrogeomorfológica do PRP, no tempo t=3.



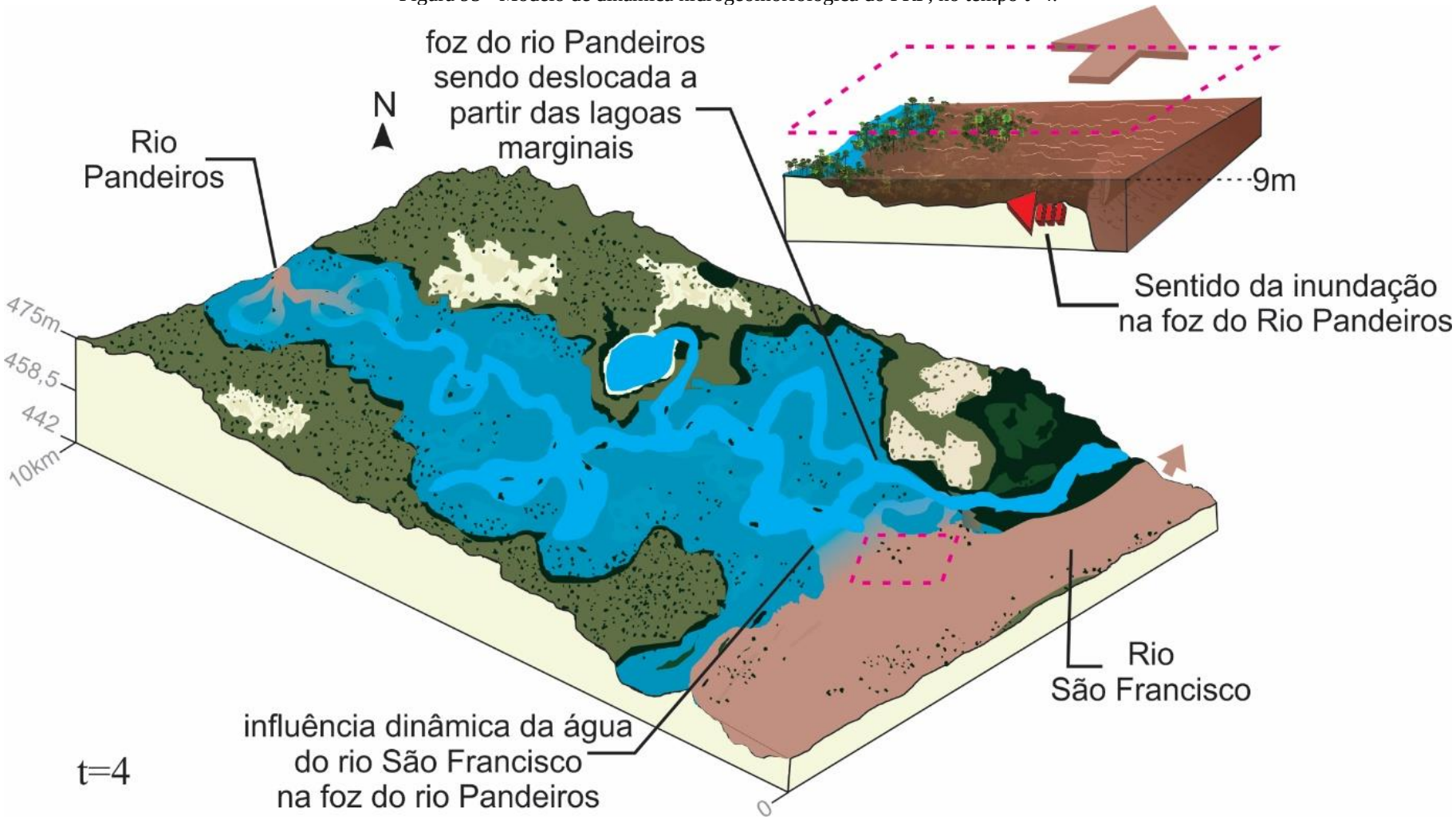
Ocorre quando o nível da água que já estava acima de 5m, continua aumentando, além do aumento da vazão do rio Pandeiros, ampliando a área inundada longitudinalmente na *wetland*. Cota estimada entre 5 e 7 metros na estação fluviométrica de São Francisco.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 89, as cenas 2, 3, 4 e 6 mostram a área do PRP inundada, sendo que as cenas 3 e 4 mostram o PRP com os níveis mais altos atingidos pelo rio São Francisco. A cena 4 é de quando este atingiu 908 cm em relação a estação fluviométrica 44200000, no dia 20 de janeiro de 2007, e registrado por imagens de satélite enquanto a 3, mostra o nível de 853 cm em relação a estação fluviométrica 44200000, alcançado no dia 28 de fevereiro de 1992. Analisando a cena 2, registrada em 26 de janeiro de 1986, com o nível do rio São Francisco registrando 697 cm na mesma estação fluviométrica, não se observa grande variação lateral de inundação na área do PRP.

Nota-se que neste caso, durante as grandes cheias do rio São Francisco, sua vazão empurra a água que sai do PRP em direção ao canto da margem esquerda do sistema de lagoas marginais do rio São Francisco, e o rio Pandeiros passa a ter outro curso, muito diferente de quando o nível da água do rio São Francisco se encontra mais baixo. Esta distinção fica muito nítida nas cenas 2, 3 e 4 das figuras 89 e 92 e está ilustrada no modelo hidrogeomorfológico t=4, da figura 95. A figura 89, cena 4 (ano de 2007), retrata as condições da área do PRP, quando o nível do rio São Francisco atingiu uma cota acima de 9 metros inundando completamente as subunidades P4 e P3 e parcialmente as subunidades P2 e P1 da *wetland* e neste caso, também as lagoas marginais do rio São Francisco.

Este modelo constitui, no entanto, uma estimativa, pois, apesar de terem sido utilizados os registros da estação fluviométrica 44200000, no período de 2015 a 2018, período de realização desta pesquisa, não ocorreram pulsos de inundação de grande magnitude, no rio São Francisco, não havendo trabalhos de campo para conferência.

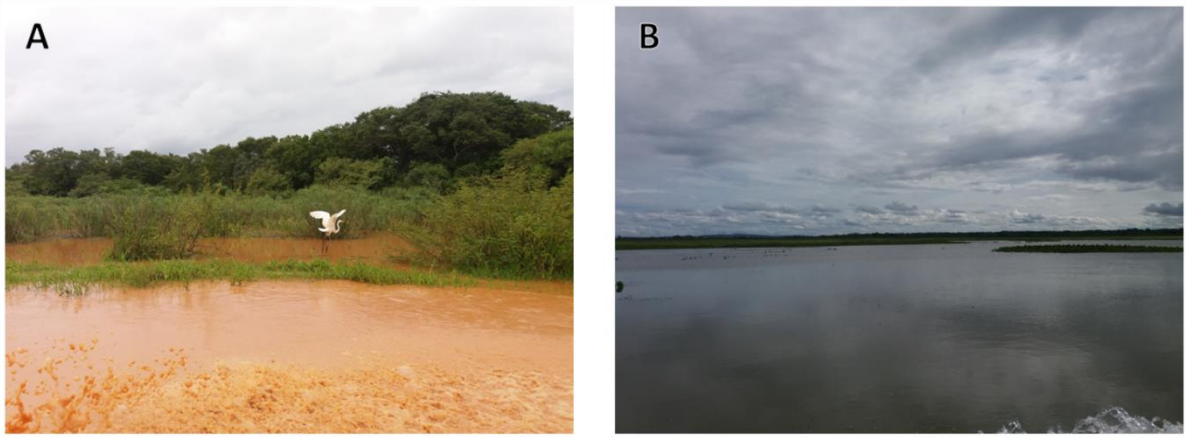
Figura 95 - Modelo de dinâmica hidrogeomorfológica do PRP, no tempo t=4.



Este modelo trata-se de uma estimativa, pois não foi registrado durante a realização deste trabalho. Quando o nível do rio São Francisco atinge uma cota acima de 9 metros, por exemplo, inunda completamente as subunidades da *wetland* do PRP e neste caso, também as lagoas marginais do rio São Francisco.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Para confirmar a importantíssima função de retenção de sedimentos que as *wetland*s possuem, sendo conhecidas internacionalmente como “the kidneys of the landscape” (MITSCH e GOSSELINK, 2007, p. 3), a figura 96 mostra o PRP no dia 10 de fevereiro de 2018, com a fotografia A tirada a montante do PRP e a B a jusante. A água cheia de sedimentos de areia e argila proveniente das rochas siliciclásticas da bacia do rio Pandeiros chega no início da área úmida com a coloração indicando a presença de sedimentos argilosos (Figura 96A), e se distribui sobre as áreas da planície de inundação. Quando a energia do transporte destes materiais diminui, eles são depositados diretamente no fundo destas áreas, ou são também retidos pela intensa densidade de raízes das plantas aquáticas existentes das lagoas permanentes e temporárias. Por meio destes mecanismos, ao atravessar a área úmida, a água que estava cheia de sedimentos, é purificada e limpa, tornando-se menos turva, fazendo com que a água que chega na foz do rio São Francisco a partir do rio Pandeiros, seja completamente cristalina (Figura 96B).

Figura 96 - Fotografias do PRP em 10 de fevereiro de 2017, indicando, pela cor da água, a capacidade de retenção de sedimentos que a *wetland* pode promover.



A foto “A”, a montante da *wetland*, mostra a grande aporte de sedimentos em suspensão, oriundos de processos erosivos na bacia do rio Pandeiros, como indicado por Lima (2019) e em B, subunidade P3 do PRP, onde os sedimentos foram depositados.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

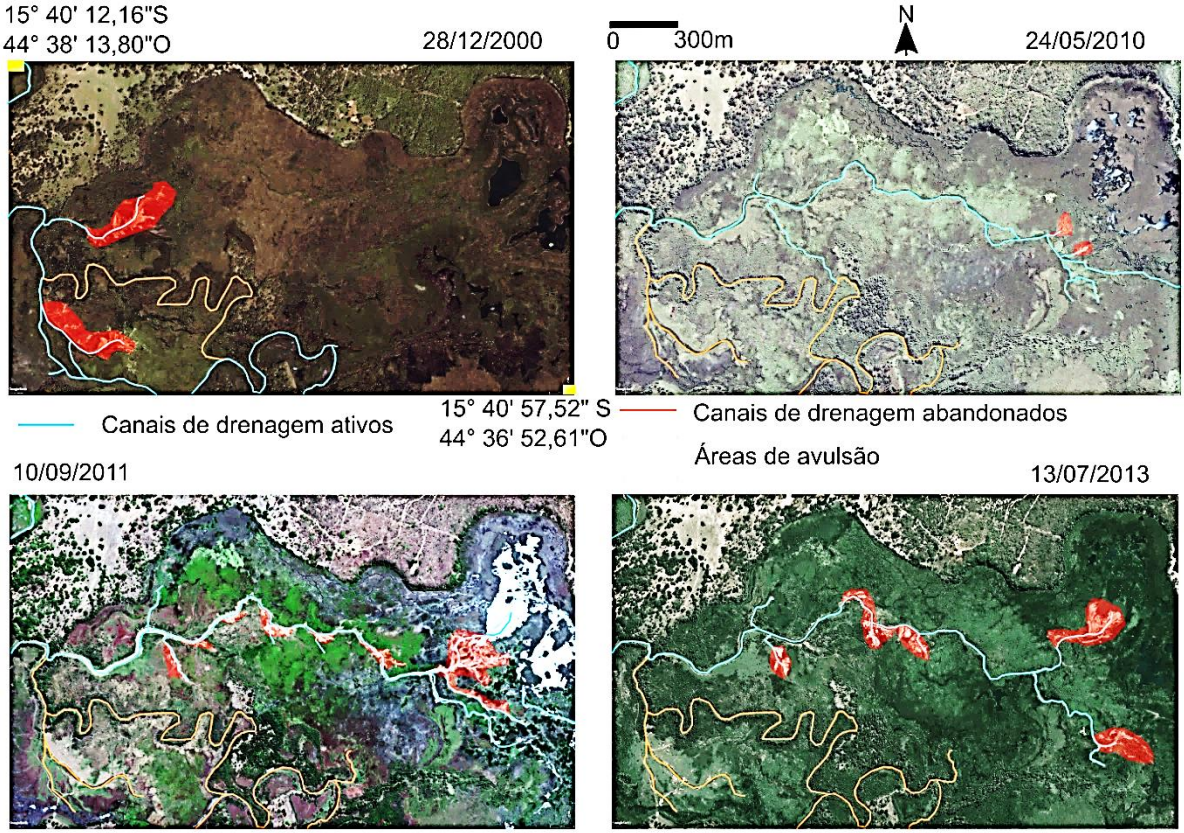
A intensa dinâmica de circulação de sedimentos do PRP pode ser verificada na figura 97, que mostra uma área representativa das subunidades P2 e P3, na qual, por meio de uma análise temporal de imagens de satélite coletadas no *software* Google Earth, de 2000 até o ano de 2013, observa-se a intensidade da transformação e atividade de avulsão que ocorre no PRP,

além da abertura de novos canais concentrados de drenagem, causando também o surgimento de canais abandonados.

Na Figura 97, percebe-se um avanço das manchas de avulsão no sentido de leste-oeste, ocorrendo durante as estações seca (maio, setembro, julho) e úmida (dezembro), gerando a criação de um canal de drenagem principal do rio Pandeiros ao norte das cenas em direção a uma lagoa permanente, onde, a partir do ano de 2013, começa, por meio de outro processo de avulsão, a receber carga de sedimentos arenosos.

Apesar do processo de avulsão ser considerado normal em paisagens marcadas por processos de agradação e foz de rios, bem como leques aluviais, como no Pantanal Mato-grossense, a intensidade e frequência destes processos pode ser gerada por um grande aporte de sedimentos que chegam nos canais de drenagem (ASSINE, 2003), podendo indicar processos de assoreamento.

Figura 97 - Imagens de satélite mostrando a intensa dinâmica de modificação dos canais de drenagem e avulsão nos diques marginais, como possível indicação de assoreamento no PRP.



Fonte: Imagens *GoogleEarth*, 2019.

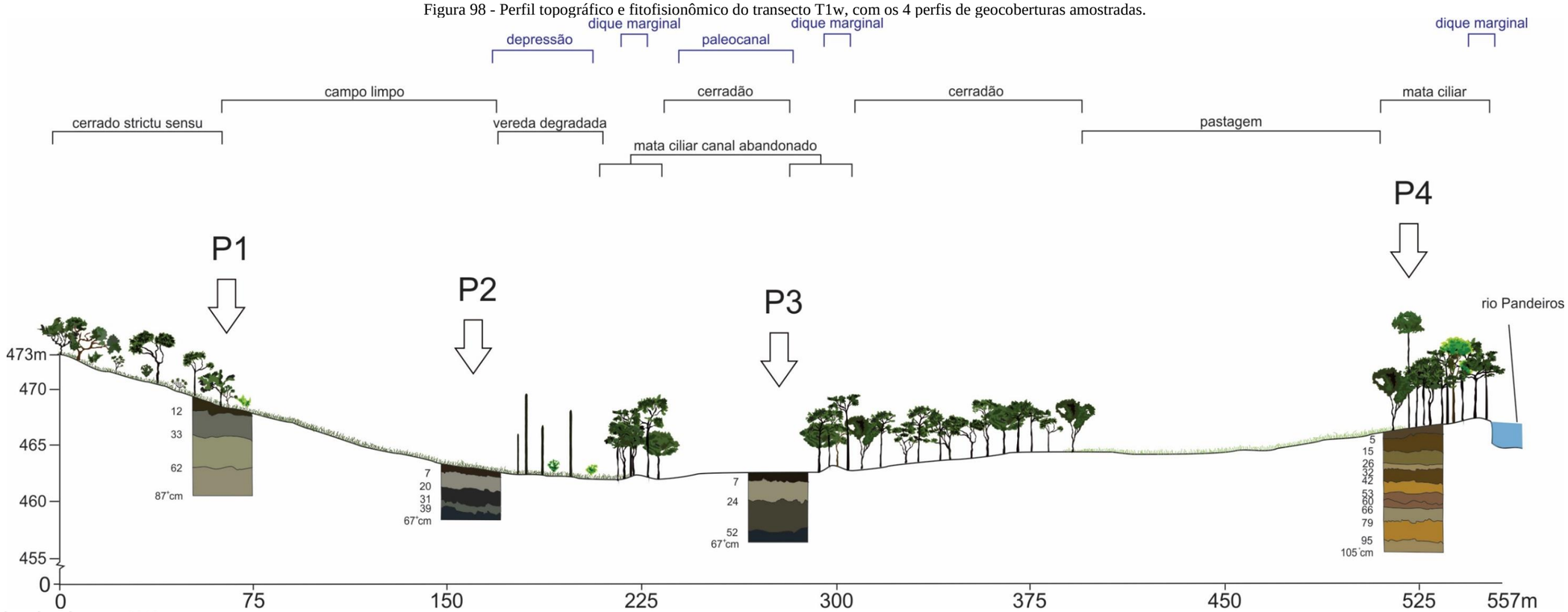
5.3.3. Caracterização das geocoberturas da subunidade P1 da wetland: o Alto Pantanal

O transecto T1w representa a subunidade P1, que é a porção mais elevada topograficamente e a montante da *wetland*. Esta subunidade pode ser muito influenciada pelo ritmo de inundações do rio Pandeiros. Nela foram analisados 4 perfis de geocoberturas, que possuem importante variação lateral.

O transecto está localizado na margem direita da planície de inundação e do canal atual do rio, totalizando cerca de 450 m de comprimento. A figura 98 ilustra o seu perfil topográfico e fitofisionômico. Sua localização está na figura 99 e a figura 100 apresenta em detalhes a localização dos perfis amostrados. É uma característica comum a todas as vertentes e transectos do Pantanal a amplitude topográfica muito suave, com uma diferença de menos de 10 m de altitude entre o ponto mais alto ao ponto mais baixo; e neste transecto as altitudes estão entre 475 m e 465 m.

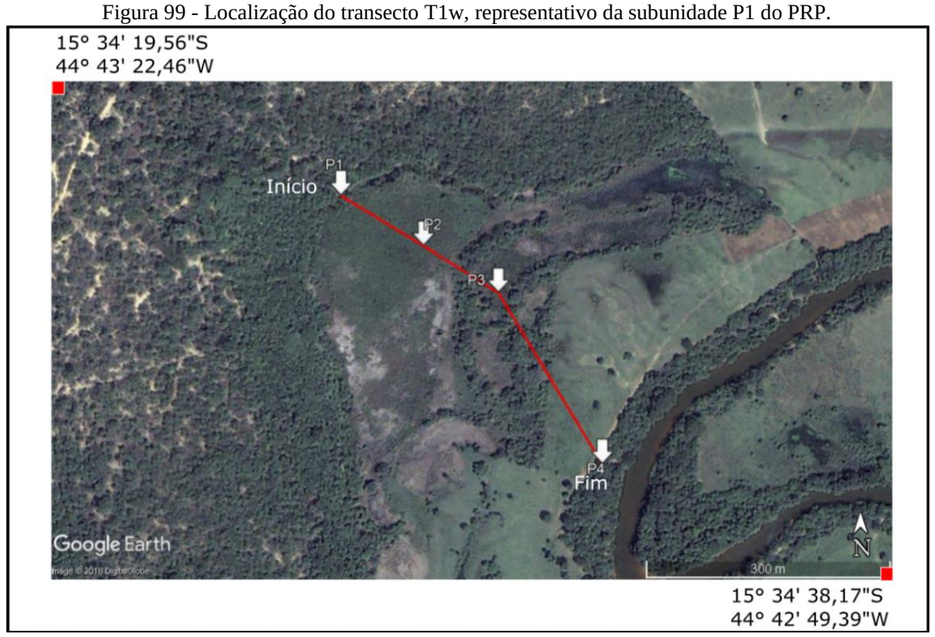
O perfil P1 está localizado em uma área de mata, típica do Cerrado, com substrato de composição arenosa, no início do transecto T1w. Já o perfil P2 está localizado em uma área úmida, possivelmente uma vereda ou lagoa, devido a presença de buritis, mas que agora encontra-se ocupada por pastagens, como pode ser observado na Figura 100. A localização do perfil P3, conforme pode ser observado na figura 98, é a de um ambiente de meandro abandonado do rio Pandeiros, inclusive com a presença de uma mata de galeria nas margens deste perfil. Já em direção ao perfil P4, existe uma superfície drenada, arenosa, onde havia a presença de uma mata do tipo de galeria, mas que foi desmatada e hoje está ocupada por pastagem (Figura 100), permanecendo vegetação apenas nas margens do rio Pandeiros, que neste trecho está bastante encaixado em alguns locais.

Figura 98 - Perfil topográfico e fitofisionômico do transecto T1w, com os 4 perfis de geocoberturas amostradas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 99 - Localização do transecto T1w, representativo da subunidade P1 do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 100 - Fotografias representativas da vegetação e a paisagem dos locais de amostragem do transecto T1w.



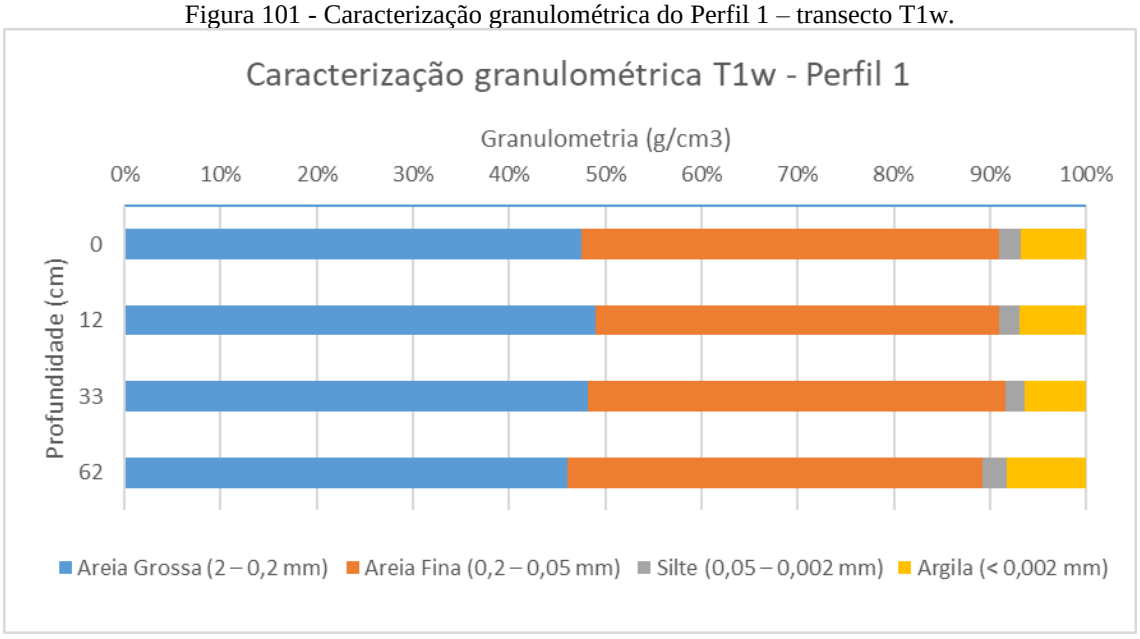
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As figuras 101 e 102 apresentam os resultados referentes às geocoberturas do perfil P1 do transecto T1w, separados: caracterização física (classes granulométricas) na figura 101 e química (pH (H_2O); pH (KCl); CE (µS); CO; MO; Sódio (Na^+); Potássio (K^+); Cálcio (Ca^{2+}); Magnésio (Mg^{2+}); Alumínio (Al^{3+}); Ferro (Fe^2O^3); Titânio (TiO^2) e Alumínio (Al^2O^3) na figura 102.

As geocoberturas do perfil T1w-P1, apresentam uma composição predominantemente arenosa, com 473,83 g/cm^{-3} de areia grossa, em média, mas também rico em areia fina, com 426,83 g/cm^{-3} em média. Esta distribuição é praticamente a mesma ao longo do perfil, que possui pouco mais de 62 cm de profundidade, conforme a figura 101.

Os valores de pH **(**H_2O**)** são estáveis em profundidade, com média de 6,7 e a CE é alta, com valor máximo de 146,90 µS até 20 cm de profundidade, se mantendo com a média estável de 86,45 µS, no restante do perfil (Figura 102).

Figura 101 - Caracterização granulométrica do Perfil 1 – transecto T1w.



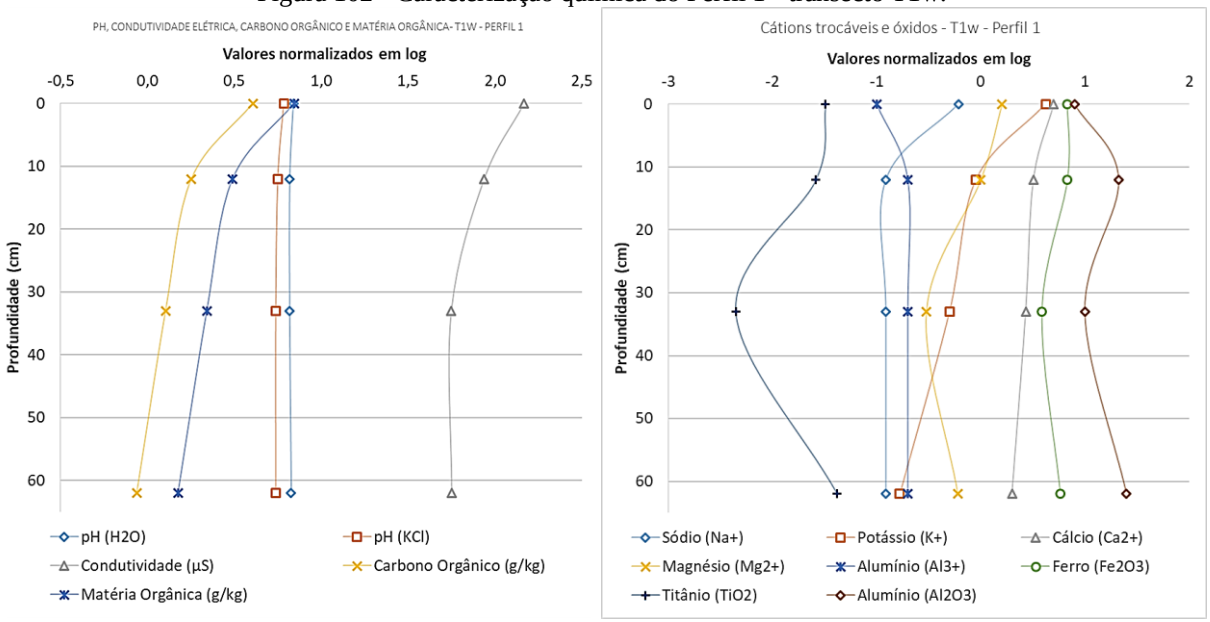
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Este perfil 1 também não contém muita MO, com média de 3,45 g/kg, e sua distribuição se reduz ao longo do perfil, seguindo o comportamento esperado em uma área drenada, com maiores teores (7 g/kg) de CO medidos na superfície, e decréscimo em profundidade.

Neste perfil, assim como em vários outros, a presença de óxidos de Fe com média de 5,81 g/kg^{-1} e Al, com média de 15,98 g/kg^{-1} é a característica predominante, seguida do Ca, com média de 3,23 cmolc/dm^{-3}. Os valores de Ti são os mais reduzidos ao longo do perfil com

média de 0,03 g/kg^{-1}, com comportamento constante em profundidade, o que pode indicar uma evolução constante destes materiais, sem grandes perturbações.

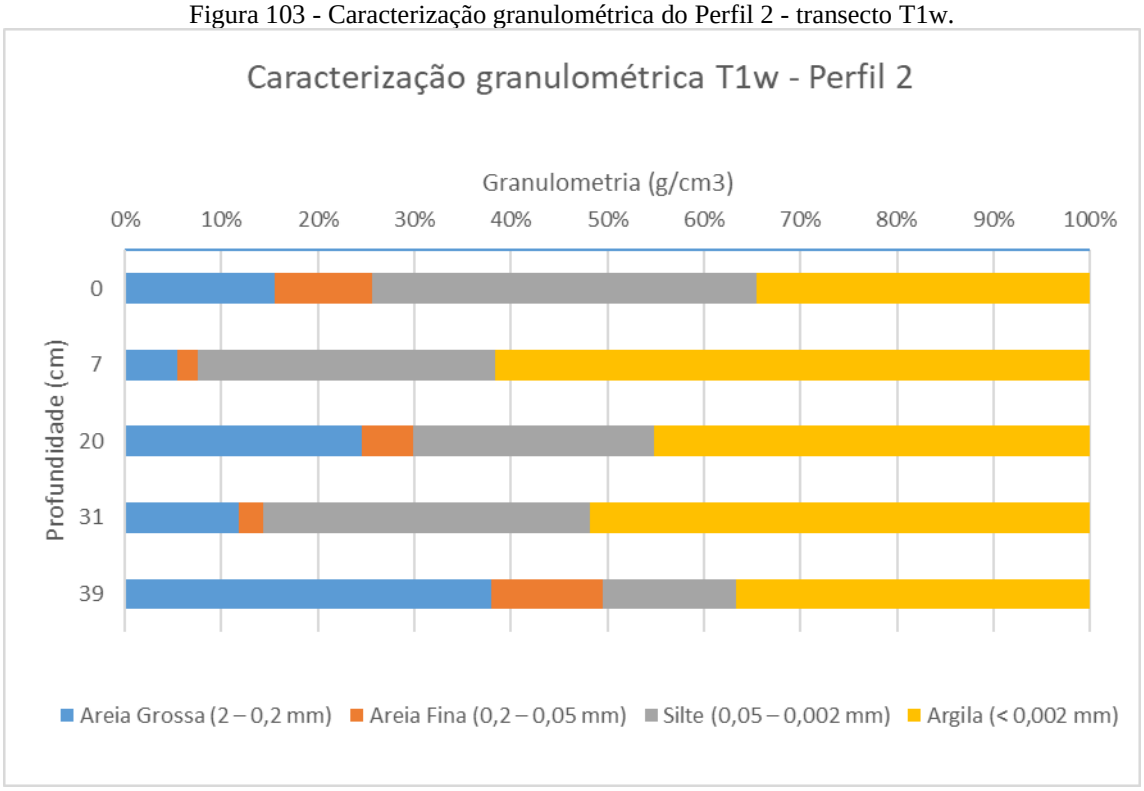
Figura 102 - Caracterização química do Perfil 1 - transecto T1w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P2 do transecto T1w, diferentemente do perfil P1 que representa uma área drenada, possui uma diferenciação de camadas muito característica de ambientes que sofreram alterações ambientais ao longo do tempo. A figura 103 apresenta seus dados de granulometria indicando uma quantidade maior de argila, com média de 447,46 g/cm^{-3} em todo o perfil, chegando ao valor máximo de 595,20 g/cm^{-3} nas camadas de 7 cm e 31 cm, as quais podem possibilitar o afloramento do nível freático, formando um ambiente típico de uma planície de inundação, semelhante ao observado por Neves *et al.* (2014). A partir de 39 cm, há um aumento do teor de areia, com o predomínio de areia grossa (368,60 g/cm^{-3}), o que poderia significar um ambiente de maior energia, próximo ou conectado a um canal de drenagem, enquanto as camadas superiores podem ser associadas a processos com menor energia, o que possibilita a deposição de finos como silte e argila no local.

Figura 103 - Caracterização granulométrica do Perfil 2 - transecto T1w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

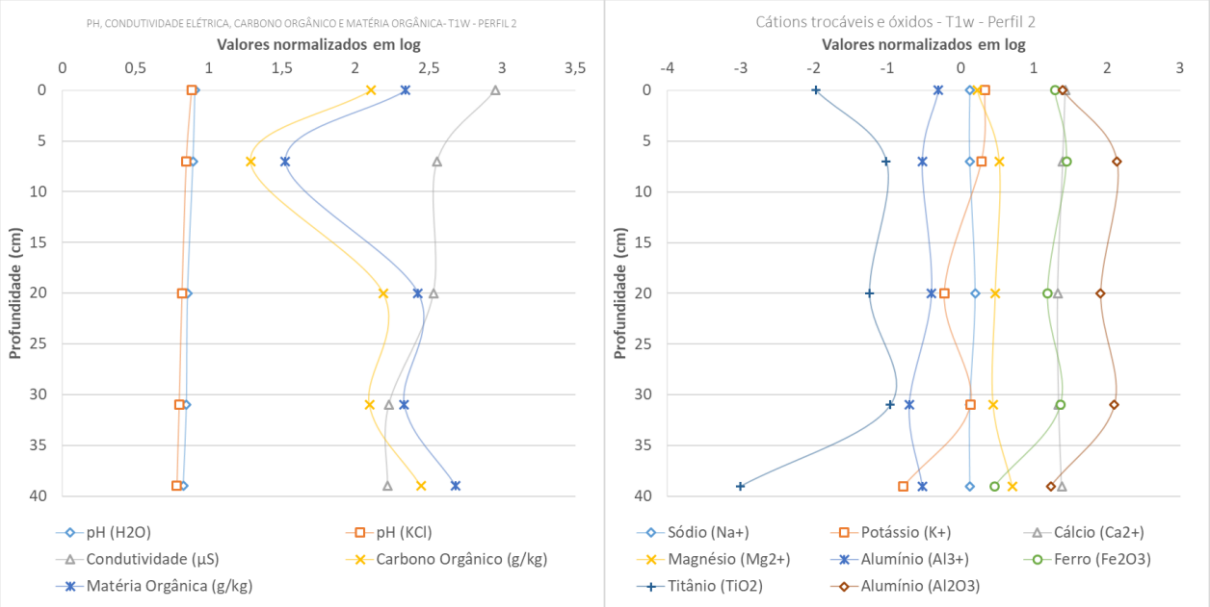
A figura 104 apresenta os resultados das análises químicas do perfil 2 do transecto T1w. Percebe-se que os altos valores de pH (em H_2O), com média de 7,36, e da CE com média de 386,80 µS e máxima de 900 µS, são encontradas nas camadas superficiais até 39 cm, com pouca redução em profundidade. A concentração de MO sofre muitas variações ao longo do perfil 2, com valor médio de 243,50 g/kg, mas registrando um desvio padrão de 160,60, que aumenta a partir de 10 cm, quando atinge cerca de 48% da composição do material, com valor máximo de 482,30 g/kg.

Os altos valores do pH nos perfis P1 e P2, podem indicar a proximidade de rochas calcárias nesta área, possivelmente, localizadas a montante ou mesmo abaixo, no substrato rochoso. Estas áreas, aparentam ser uma depressão, podendo ser consideradas uma antiga lagoa ou apenas uma vereda, dada a presença de vários buritis mortos, estando, no entanto, sendo desmatadas e ocupadas por pastagem.

No perfil 2, os óxidos de Fe e Al estão presentes, seguido do Ca, como os elementos com maior teor, com valores médios de 17,81 g/kg^{-1}, 77,37 g/kg^{-1} e 23,84 $cmolc/dm^{-3}$ respectivamente, sendo o óxido de Ti e o Al trocável, os que apresentam os menores valores, com média de 0,06 g/kg^{-1} e 0,34 $cmolc/dm^{-3}$ respectivamente. Há uma estabilidade no perfil,

ocorrendo apenas uma redução generalizada de óxidos e K a partir de 40 cm, o que pode estar correlacionado com a presença do nível freático.

Figura 104 - Caracterização química do Perfil 2 - transecto T1w.

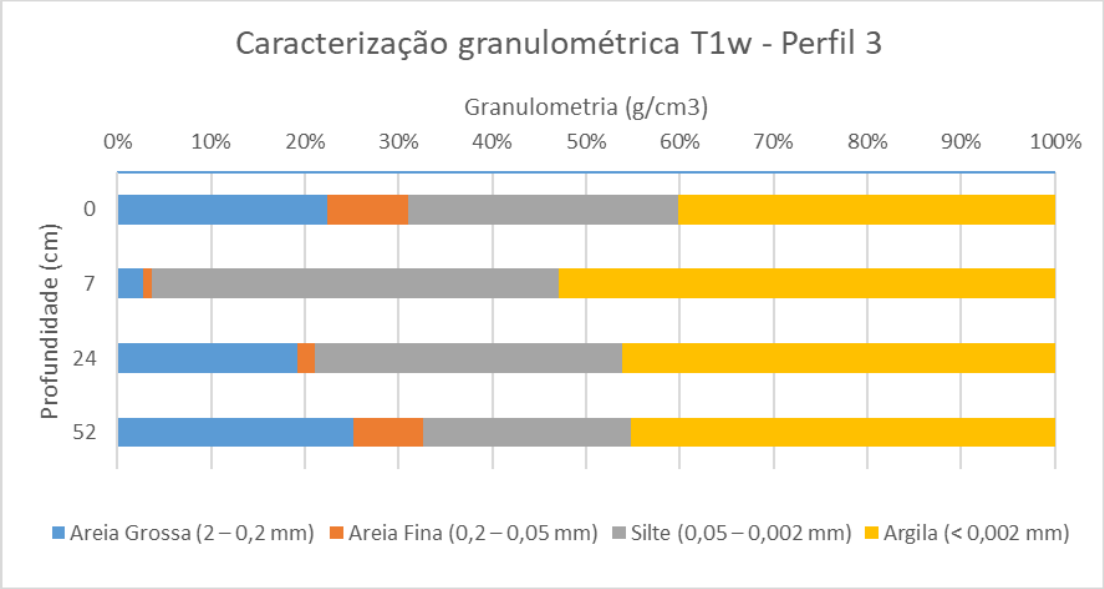


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil 3 do transecto T1w também está localizado na planície de inundação do rio Pandeiros e, conforme a imagem da figura 98, poderia ser identificado como um antigo meandro do rio Pandeiros, dada a existência de árvores de grande porte margeando esta área que é rebaixada em relação ao entorno, assim como no perfil 2.

A figura 105 apresenta os dados das análises granulométricas deste perfil, que indicam tratar-se de uma sequência de camadas argilosas, com valor médio de 456,63 g/cm^{-3}, até uma profundidade de 52 cm, onde aflora o nível freático. Os valores de areia grossa e fina, embora mais baixos, são muito constantes, com valores entre 173,05 e 46,13 g/cm^{-3}, excetuando-se na camada de 7 cm a 24 cm, onde há uma redução no teor de areia, para apenas 73,5 g/cm^{-3} e aumento do teor de silte e argila. Como não foi possível atingir uma coleta mais profunda, devido ao afloramento do nível freático, não foi localizado o possível fundo arenoso do canal, o que leva à suposição de que este meandro funcionou, recentemente, como uma lagoa, com ambiente de baixa energia.

Figura 105 - Caracterização granulométrica do Perfil 3 - transecto T1w.

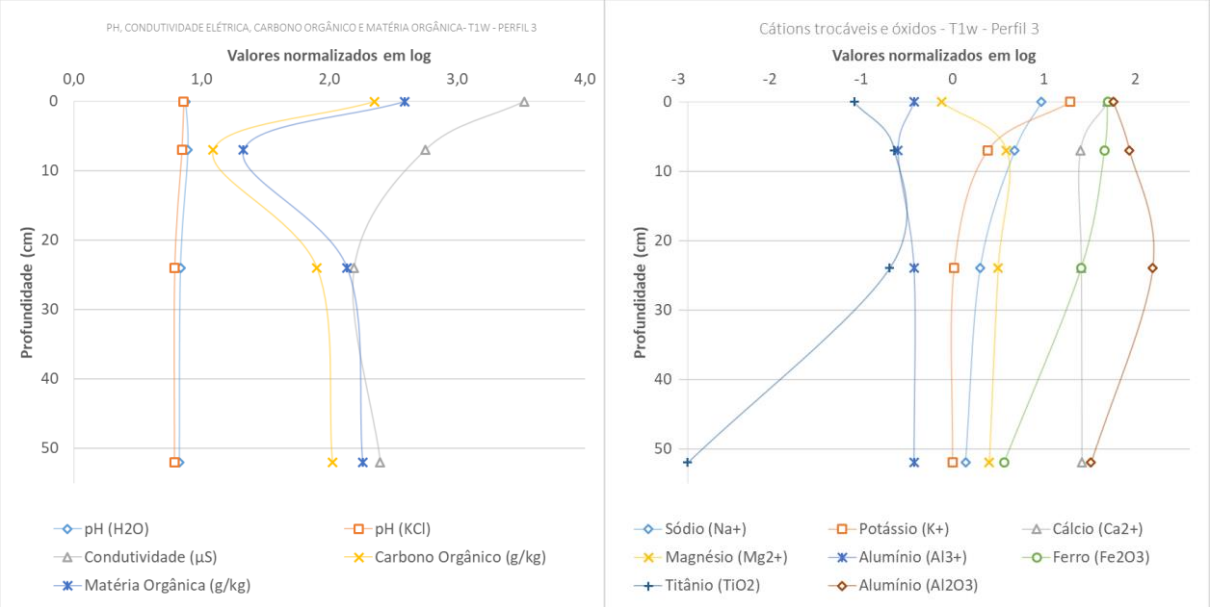


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Conforme verifica-se na figura 106, os valores de pH são estáveis em profundidade, com média de 7,2 em H_2O, apresentando, nas camadas mais superficiais valores até mais altos do que os dos perfis P1 e P2. O que distingue este perfil 3 dos demais, são seus valores elevados da CE, com máximo até 3.340 µS, e média de 1.519 µS, os mais elevados entre todas as amostras analisadas neste trabalho, embora tendam a se reduzir em profundidade. Esses valores elevados podem estar relacionados à migração e ou deposição de sais solúveis da montante, em direção a esta planície de inundação.

Os valores de MO, apesar de elevados, com máxima de 390,30 g/kg, são inferiores aos encontrados no perfil P2 e, com exceção de material amostrado à profundidade de 10 cm, seus níveis se mantêm estáveis no perfil. Os elementos Fe, Al e Ca continuam sendo os que apresentam maior teor, com média de 24,93 g/kg^{-1}, 66,19 g/kg^{-1} e 25,10 $cmolc/dm^{-3}$ respectivamente, enquanto o Ti e Al trocável representam os menores valores, com média de 0,10 g/kg^{-1} e 0,28 $cmolc/dm^{-3}$ respectivamente, havendo uma estabilidade ao longo do perfil, mas com leve tendência a redução dos óxidos em profundidade.

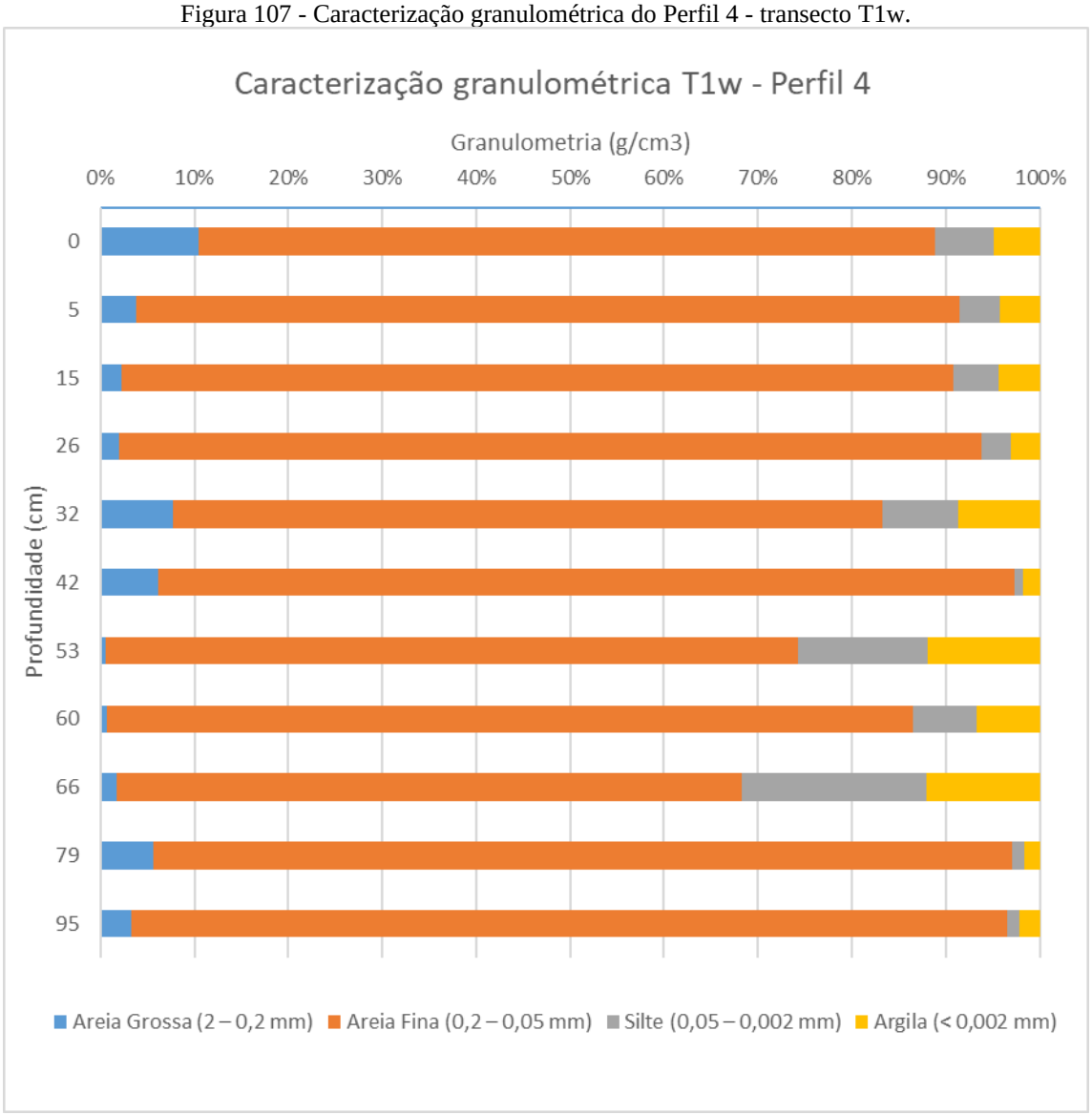
Figura 106 - Caracterização química do Perfil 3 - transecto T1w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P4 do transecto T1w está localizado próximo às margens do canal atual do rio Pandeiros, encontrando-se mais elevado topograficamente em relação aos perfis P2 e P3 deste transecto, podendo ser caracterizado como um *levee* do rio Pandeiros. Sua composição granulométrica (Figura 107), revela uma pequena variação textural entre as camadas, mas com composição predominantemente de areia fina, com média de 834,52 g/cm^{-3} no perfil.

Figura 107 - Caracterização granulométrica do Perfil 4 - transecto T1w.



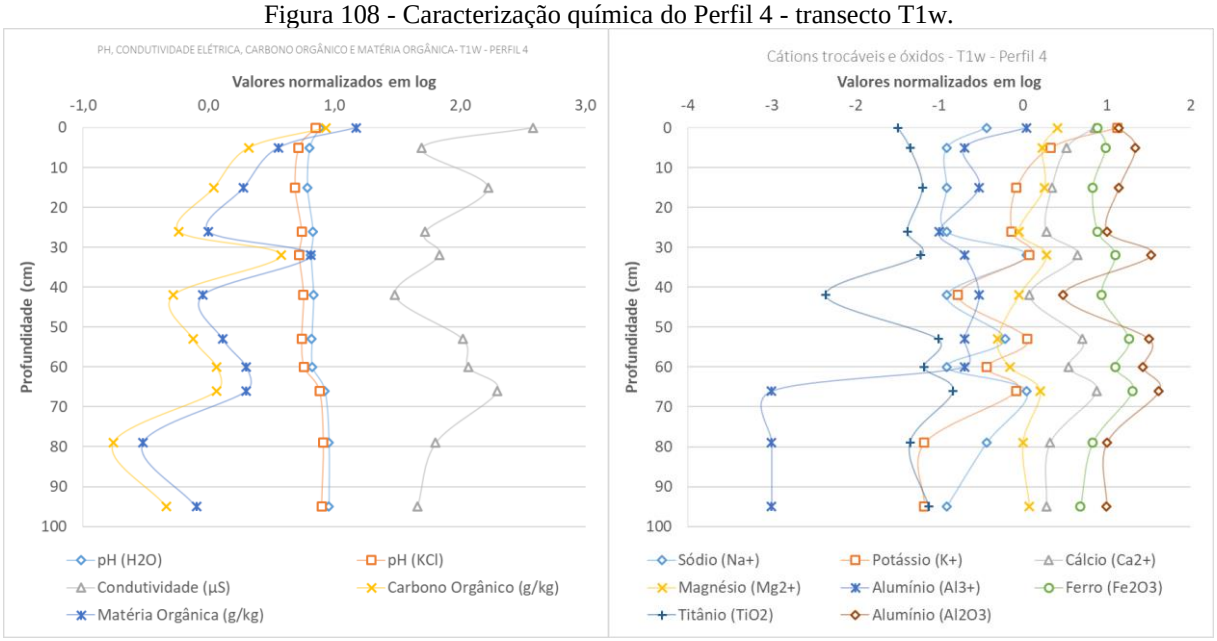
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os valores das análises químicas deste perfil 4 são apresentados na figura 108. Nota-se uma diferença muito significativa no teor da MO que possui média de 3,90 g/kg no perfil, valor semelhante ao do perfil 1, típico de área drenada, onde existe pouca MO e concentração mais elevada em superfície (máximo de 14,90 g/kg), com valores decrescentes em profundidade, quando se comparam com os perfis 2 e 3 deste transecto.

No perfil, os valores de CE apresentam um comportamento muito variável, com média de 116,05 µS e desvio padrão de 102,45, sendo muito elevados em superfície, mas, registrando com o maior valor (de 380 µS) entre 15 cm e 26 cm, com posterior redução em profundidade, voltando a aumentar a partir de 53 cm até 79 cm, o que pode estar correlacionado com um aumento da quantidade de argila e redução de areia fina no perfil.

Os valores dos demais elementos deste perfil (Figura 108), mostram um comportamento de muita variabilidade, maior do que nos demais perfis. Continuam predominantes os óxidos de Fe e Al, além do Ca, com valores médios de 10,56 g/kg^{-1}, 19,78 g/kg^{-1} e 3,67 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente, e menores para o Ti, e Al, com valores médios de 0,06 g/kg^{-1} e 0,24 $cmolc/dm^{-3}$ na forma de cátion. Talvez, pela proximidade do canal rio Pandeiros, estes elementos sejam influenciados pela dinâmica da água subterrânea, que leva a um transporte e flutuação maiores neste local.

Figura 108 - Caracterização química do Perfil 4 - transecto T1w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Como característica deste transecto, também se identificam altos valores de pH, que tem valor médio de 7,26 em H_2O, aumentando em profundidade, principalmente a partir de 66 cm e na camada superficial.

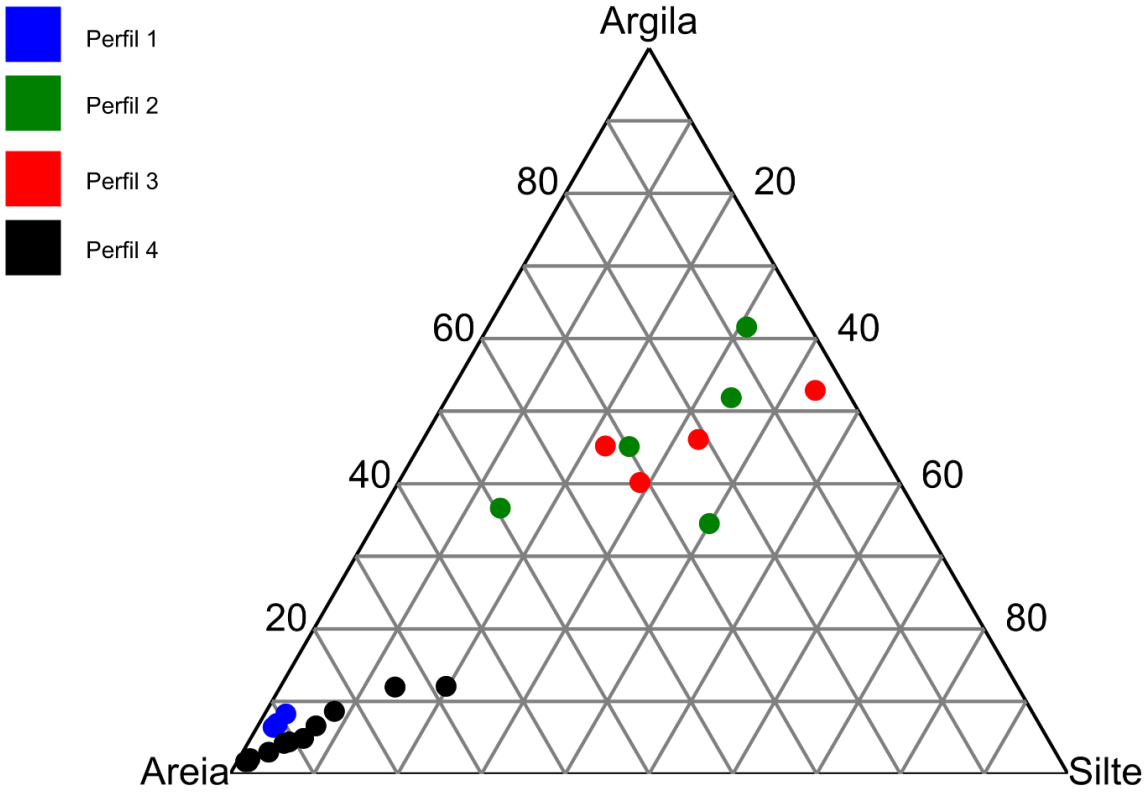
5.3.3.1. Análise lateral do transecto T1w

A análise da distribuição dos materiais e suas propriedades físicas e químicas no transecto T1w, vista sob a perspectiva lateral, ou seja, partindo do perfil P1 até o P4, foi realizada para verificar a distribuição de ambientes existentes na subunidade P1, ou seja, o Alto Pantanal. Para isso, foi elaborado, a partir de técnicas estatísticas, o gráfico ternário dos valores de textura (Figura 109), adaptando-se a metodologia proposta por Flemming (2000). São

também apresentados os valores médios, mínimos e máximos de cada atributo analisado, por perfil e representados ao longo do transecto, para analisar sua distribuição média.

A distribuição ternária dos valores de textura dos perfis do transecto T1w, (Figura 109), permite verificar que há 2 conjuntos de perfis bem discriminados: 1) os perfis P1 e P4, ambos com geocoberturas predominantemente formadas de areia, com teores semelhantes, com média de 900,66 g/cm^{-3} e 874,47 g/cm^{-3}, respectivamente, o que indica mais energia hídrica no ambiente, o que favorece o transporte e, eventualmente, a deposição de sedimentos de granulometrias maiores; e 2) o segundo conjunto, formado pelos perfis P2 e P3, que estão em posição intermediária no diagrama, e que se encontram, no campo, localizados em uma área mais baixa, apresentam geocoberturas compostas predominantemente por silte (280,72 g/cm^{-3} e 315,18 g/cm^{-3}, em média) e argila entre 447,46 g/cm^{-3} e 456,63 g/cm^{-3} respectivamente, indicando ambientes de baixa energia, o que favorece a deposição de materiais de granulometria menores.

Figura 109 - Classificação textural do transecto T1w, indicando o tipo de ambiente de deposição dos perfis 1, 2, 3 e 4.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Grande parte das demais análises deste transecto corrobora a interpretação da existência de mais de um ambiente entre os perfis do transecto T1w. Um deles, com maior energia, correspondendo, possivelmente, à um ambiente localizado em áreas de maior fluxo de água no passado, esteve sujeito à mobilização, transporte e, com a diminuição do fluxo, à deposição de sedimentos de granulometria maior (areia), é representado pelos perfis 1 e 4. A interpretação de que a deposição tenha se dado no passado, é justificada pela localização atual desses dois perfis (1 e 4) em áreas mais altas e drenadas. Eles ainda podem, nos dias de hoje, receber um fluxo maior de água durante as inundações.

O outro ambiente, exemplificado pelos perfis 2 e 3, indica uma dinâmica de baixa energia hidráulica, favorecendo a deposição de sedimentos finos, como silte e argila. Mesmo estando localizados em posição topográfica um pouco mais baixas do que os anteriores (1 e 4), razão de apresentarem atualmente mais umidade, demonstram, pela predominância da granulometria mais fina (silte e argila), não terem sido atingidos pelo fluxo mais rápido, com maior turbilhonamento, possibilitando a deposição de material fino.

É interessante notar, no entanto, que, enquanto o perfil P1 apresenta uma homogeneidade muito grande, o perfil P4 tem uma variação de energia maior, possuindo desde ambientes que indicam deposição de material de maior granulometria, até ambientes indicando menor energia. O mesmo acontece com relação aos materiais depositados no P2, que também indicam maior variabilidade de energia do que P3. Esta maior variabilidade de P2 e P3, pode estar relacionada ao fato de se encontrarem localizados entre diferentes posições no relevo: enquanto P2 está entre uma área mais drenada e o fundo do meando abandonado, o perfil 4 está localizado entre o atual canal principal do rio e um meando abandonado.

A figura 110 apresenta uma sistematização dos valores médios, mínimos e máximos, por perfil, de acordo com cada análise realizada, distribuídos ao longo do transecto, a partir de seus valores brutos, de maneia a caracterizar a distribuição das propriedades das geocoberturas lateralmente na subunidade P1, o Alto Pantanal.

Lateralmente, os valores da areia grossa, em todas as medidas, tendem a reduzir desde o alto da vertente, quando apresentam quase 50% do teor granulométrico das geocoberturas, até o canal atual do rio, apresentando certa estabilidade a partir do P2, mas retornando a tendência de redução no P4, que não é a parte mais baixa do transecto, provavelmente constituído de material arenoso, formando o dique marginal do rio, estando sujeito a processos de avulsão.

A distribuição da areia fina corresponde, com a análise de deposição de energia adaptada de Flemming (2000), separando os perfis com alto teor de areia (P1 e P4), com este último

apresentando média de 80% do teor, em relação aos perfis, P2 e P3, localizados na parte mais baixa do transecto. Os valores de silte e argila, também consolidam a diferenciação de ambientes entre os perfis mais drenados (P1 e P4), e os mais úmidos (P2 e P3). As duas granulometrias têm o mesmo comportamento, com redução do seu teor nos perfis P1 e P4, e aumento significativo da média nos perfis P2 e P3, ficando acima de 30% e 40%, respectivamente.

Os valores médios de pH em H_2O são elevados, em torno de 6, com pouca variação ao longo do transecto. O perfil 4 tende a registrar os maiores valores (máximo de 9), chegando a 8 nos perfis P2 e P3. O mesmo ocorre com os valores de pH em KCl, com média acima de 6, quando comparados aos demais transectos deste estudo. Os ambientes de P1, P2 e P3 apresentam valores de pH mais baixos e muito similares (Figura 110).

Os valores de CE neste transecto são muito elevados, sendo o valor acima de 3.000 µS no P3, o maior de todas das amostras analisadas. Nos perfis P1 e P2, os valores são mais baixos, muito inferiores a 1.000 µS, confirmando, novamente a diferenciação entre os dois ambientes neste transecto (P1 e P4; P2 e P3). Os valores de MO e CO, como são diretamente proporcionais, são semelhantes. Apesar de serem mais elevados nos perfis P2 e P3, são maiores no P2, com valor máximo acima de 250 g/kg de CO (Figura 110). A presença de quantidades maiores de MO e CO nos perfis P2 (média de 141,26 g/kg de CO e média de 243,5 g/kg de MO) e P3 (média de 105,93 g/kg de CO e média de 182,6 g/kg de MO), reforçam a análise de que se trata de locais com baixa energia hidráulica, favorecendo a deposição de sedimentos finos, entre eles os orgânicos.

Os cátions trocáveis, como Na, K e Ca, por sua vez, estão mais concentrados no P3, enquanto no P2, foram detectados mais Mg e Al, na forma de cátion. Nos perfis drenados (P1 e P4), estes valores são muito mais baixos (média do Na abaixo de 0,39 cmolc/dm^{-3}, média do K abaixo de 1,91 cmolc/dm^{-3} e média do Ca abaixo de 3,67 cmolc/dm^{-3}) na comparação com os dados dos perfis úmidos (Figura 110). Esta concentração de cátions na zona que permanece úmida por mais tempo, pode ser a resposta para a alta CE encontrada também nestes perfis, além da concentração de argila e MO.

Particularmente K, apresenta uma quantidade média constante nos perfis P1 e P2, sendo que o valor máximo (15,47 cmolc/dm^{-3}) está no P1. Já o valor do cátion Al, apesar de apresentar valor médio maior no P2, possui valores muito discrepantes no P4, registrando, ao mesmo tempo, os valores máximo e mínimo no mesmo perfil.

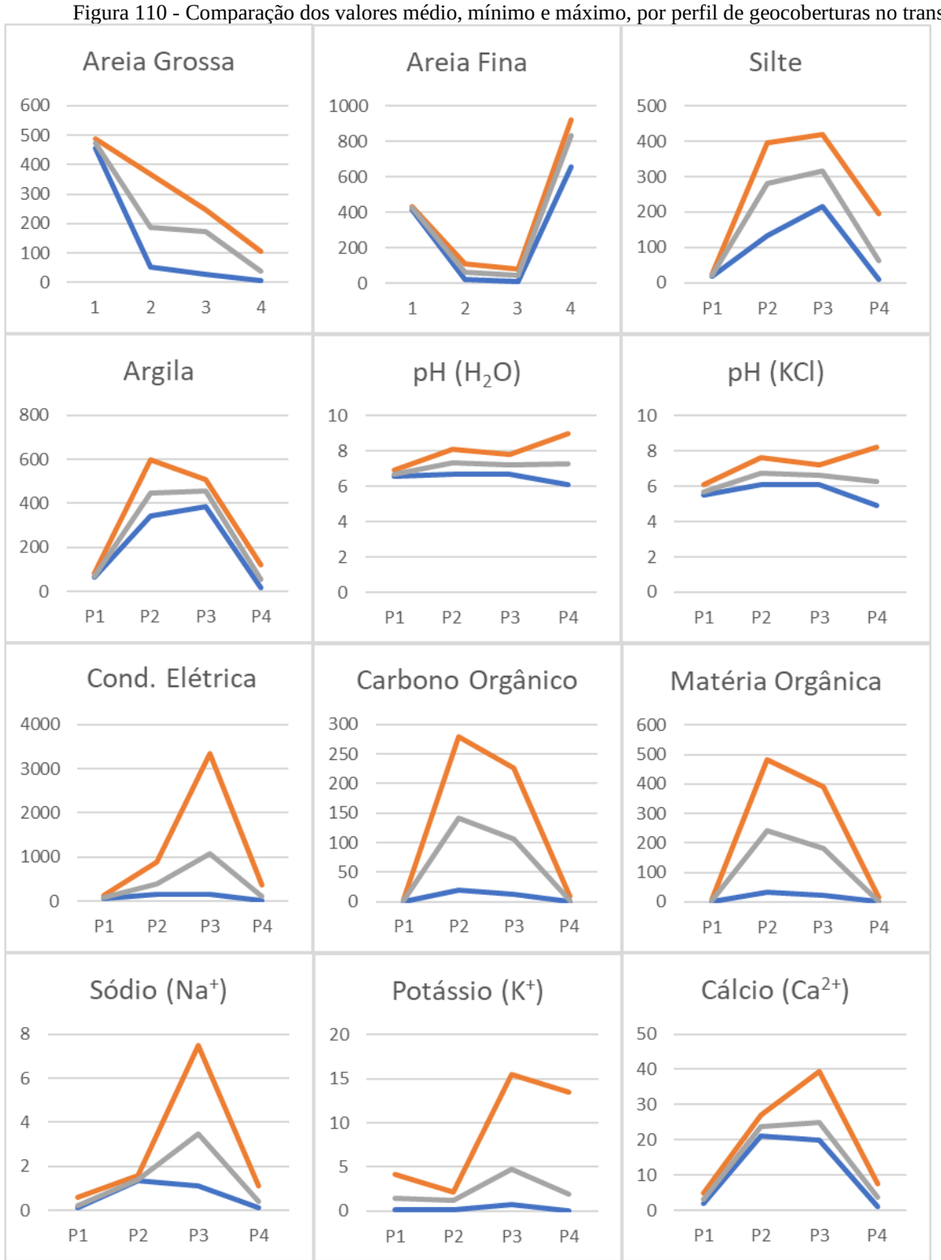
O comportamento dos óxidos (Figura 110) mantém a diferenciação entre os dois ambientes, sendo que P3 registra os maiores valores de Fe e Ti, e P2 para o Al, na forma de óxido. Os valores nos perfis drenados são bem inferiores, contudo, P1 registra medidas de posição menores do que P4.

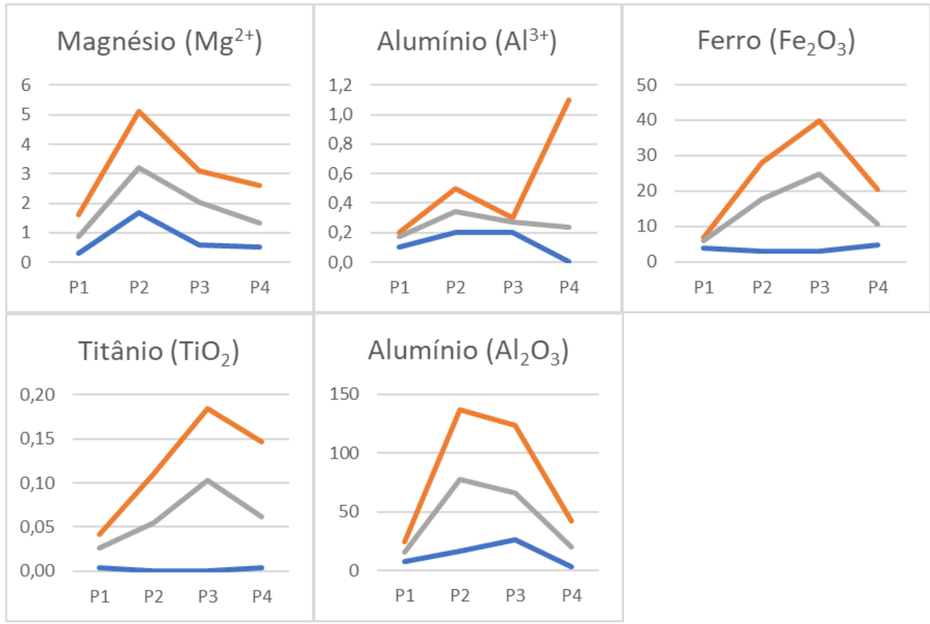
A análise da distribuição lateral de propriedades das geocoberturas foi realizada por meio da apresentação dos dados na forma de *matrix plot*, confeccionada no *software Paleontological statistics* (PAST) a partir dos valores normalizados em log. O uso deste gráfico (Figura 111) possibilita analisar espacialmente os resultados da distribuição dos valores, tanto em profundidade no perfil, quanto entre os perfis ao longo do transecto, por meio de cores, sem escala ou representação correspondente as de um mapa. Os tons de vermelho representam os maiores valores, e os tons de azul, os menores, enquanto os tons de verde e ciano representam valores próximos à média, ou ao 0 em escala logarítmica.

Na figura 111 pode-se, novamente, perceber a diferença entre os dois grandes ambientes: o drenado dos perfis P1 e P4 e o úmido dos perfis P2 e P3, identificados pelo agrupamento em cores principalmente dos atributos: AF (areia fina), S (silte), A (argila), CO (carbono orgânico) MO (matéria orgânica), Ca (cátion de cálcio), Fe (óxido de ferro) e Al_2O^3 (óxido de alumínio). Por meio de seus valores, representados em cores, é possível diferenciar o ambiente úmido de P2 e P3, que pode ser caracterizado por conter mais silte, e argila, baixo teor de areia fina e concentração variável de areia grossa. Os valores de pH são estáveis, enquanto os da CE tendem a ocorrer em valores mais elevados assim como os de CO e da MO. O cátion de Ca também é mais elevado neste meio, juntamente com os óxidos de Fe e Al.

O ambiente drenado (P1 e P4) é representado principalmente pela presença predominante da areia grossa, especialmente no P1, e de muita areia fina, contrastando com a ocorrência de silte e argila no ambiente úmido de P2 e P3. Da mesma maneira, os valores de CE são inferiores e os de CO e MO são sempre mais baixos do que os do ambiente úmido. Os valores dos cátions são também menores, com destaque para a discrepância entre os baixos valores do Al nos perfis 1 e 4 e muito elevado no horizonte superficial. Também, em média, há menos óxido de Al presente nos perfis drenados do que no ambiente úmido.

Figura 110 - Comparação dos valores médio, mínimo e máximo, por perfil de geocoberturas no transecto T1w.





Legenda:

P1: Perfil 1

P2: Perfil 2

P3: Perfil 3

P4: Perfil 4

Unidades de medida

Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila:	g/cm^{-3}
Condutividade elétrica:	µS
Carbono orgânico e matéria orgânica:	g/kg
Cátions trocáveis: Sódio (Na^+), Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}):	$cmolc/dm^{-3}$
Óxidos: Ferro (Fe_2O_3), Titânio (TiO_2) e Alumínio (Al_2O_3):	g/kg^{-1}

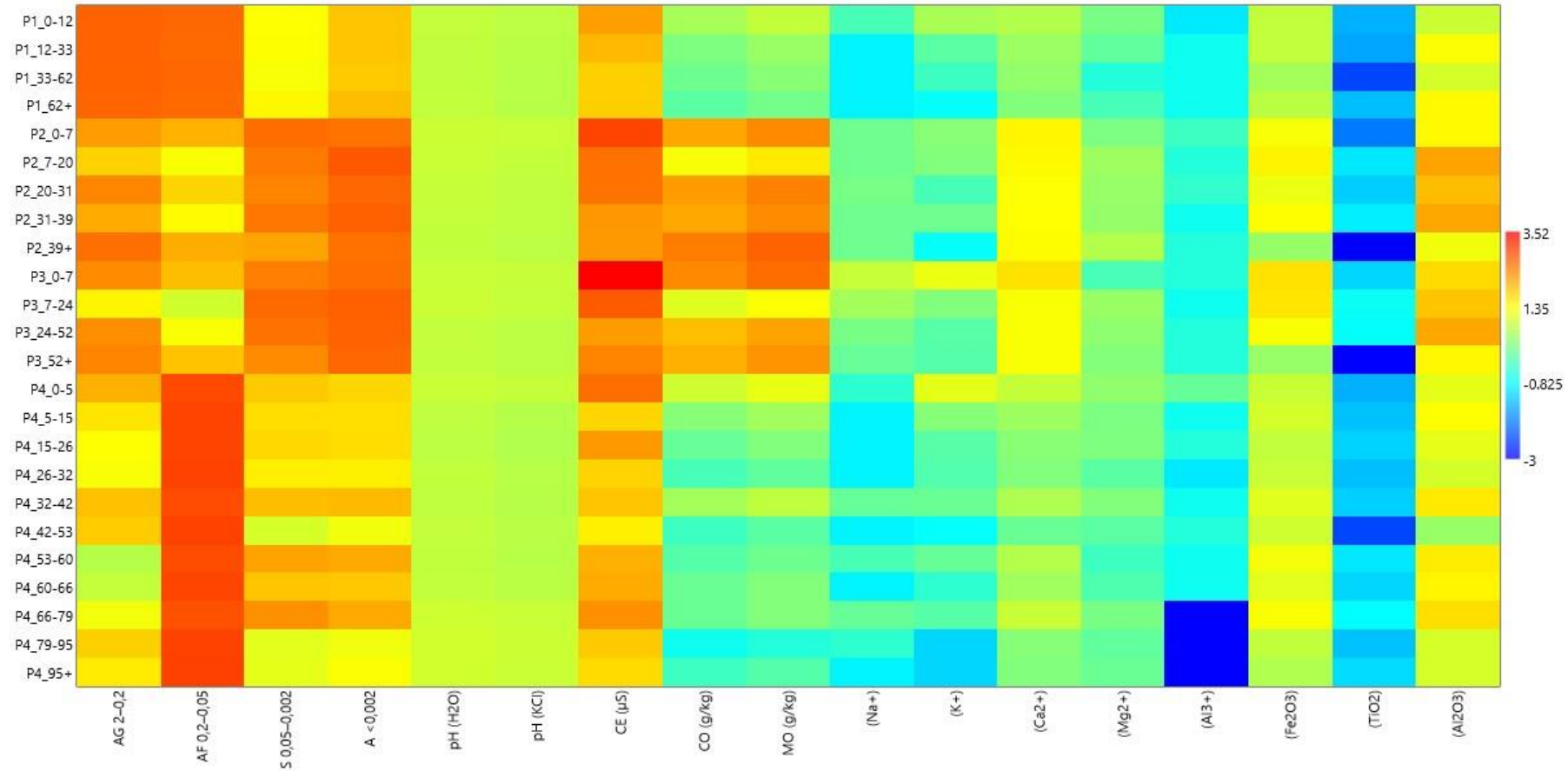
Valor mínimo:

Valor médio:

Valor máximo:

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 111 - Visualização dos resultados das análises de textura, físicos e químicos das geocoberturas superficiais do transecto T1w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.4 Caraterização das geocoberturas da subunidade P2 do PRP: o Médio Pantanal

5.3.4.1 Análise das geocoberturas superficiais do transecto T2w

O transecto T2w está localizado a jusante da subunidade P1, e apesar de ser suscetível a inundação, possui um certo isolamento topográfico, o que faz com que seu regime de inundações dependa dos pulsos de inundação que ocorrem no rio Pandeiros, principalmente. Ele, em conjunto com o transecto T3w, são representativos da subunidade P2 do PRP.

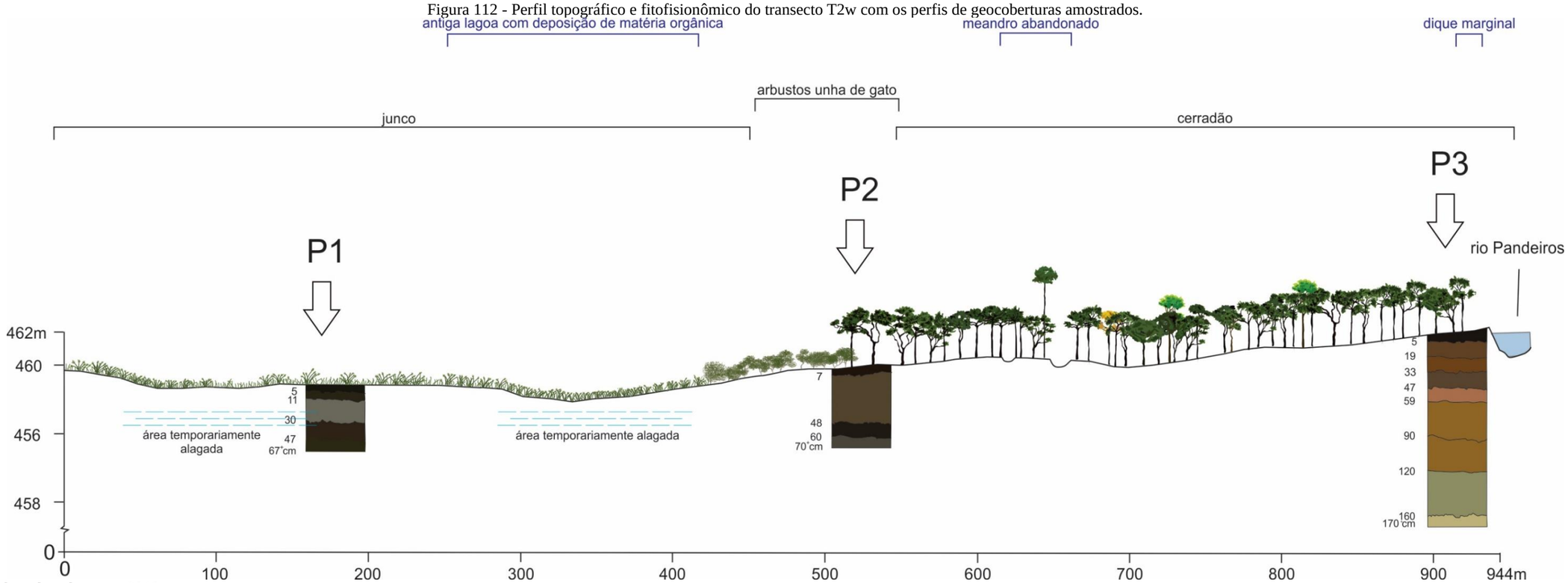
O transecto T2w, tem início em um ambiente de baixa energia, onde os materiais são predominantemente silte e argila (perfis P1 e P2), com média de 506,77 g/cm^{-3} e 583,68 g/cm^{-3} de argila respectivamente a cada perfil e passando para um ambiente com maior quantidade de areia, principalmente fina, do perfil P3, com média de 722,97 g/cm^{-3}.

Na subunidade P2, quando o nível do rio São Francisco aumenta muito, associado a vazão do rio Pandeiros, ocorre a inundação desta área com uma frequência não necessariamente anual, mas ocasional, em consequência da precipitação concentrada que ocorre nestas duas bacias de drenagem.

O transecto T2w é representativo especificamente da planície de inundação e encontra-se na figura 112 o perfil topográfico e fitofisionômico. Na figura 113 está a sua localização com a imagem de satélite da área, e na figura 114, fotografias em detalhe da localização dos perfis amostrados.

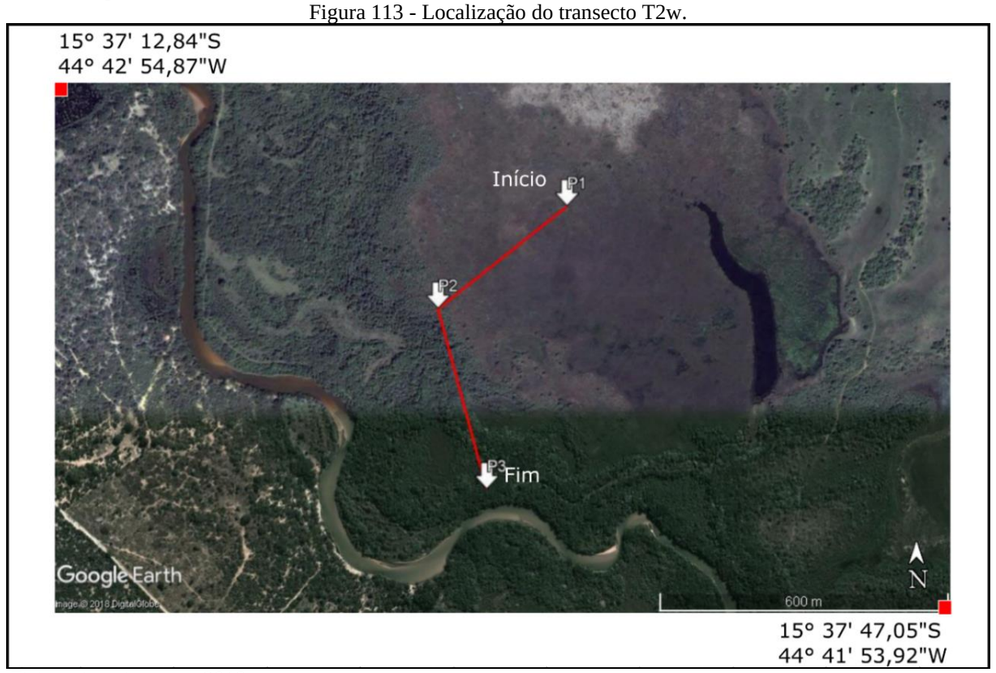
Ele foi amostrado em 3 perfis que, apesar de não serem muito distintos em termos de altitude, estão localizados em ambientes muito distintos entre si. Esta diferença é facilmente detectada pela variação da cobertura vegetal já adaptada às condições de hidromorfia constante (Figuras 112 e 114) que está sobre estes locais. O perfil P1 encontra-se localizado em uma lagoa temporária, em cujo interior existe uma lagoa permanente, a Lagoa Feia.

Figura 112 - Perfil topográfico e fitofisionômico do transecto T2w com os perfis de geocoberturas amostrados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 113 - Localização do transecto T2w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 114 - Fotografias representativas da vegetação e a paisagem dos locais de amostra do transecto T2w.



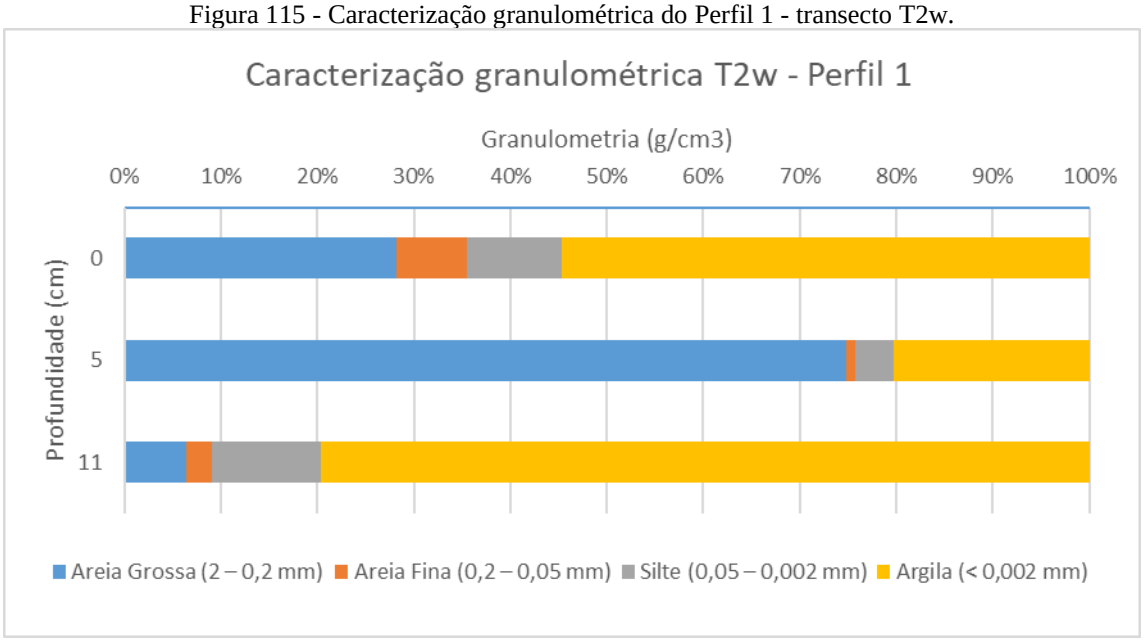
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P2 está localizado em uma área de transição entre a depressão da lagoa temporária (Lagoa Feia) e uma área emersa, coberta por floresta, até o canal do rio Pandeiros. Sua cobertura vegetal é formada por arbustos, os quais, eventualmente podem estar cobertos por água, mas por um breve período (Figuras 112, 113 e 114).

O perfil P3 encontra-se próximo às margens do canal atual do rio Pandeiros, em uma área mais elevada e mais drenada do que o seu entorno, estando coberto por árvores de médio e grande porte, vários cipós e arbustos (Figuras 112, 113 e 114).

A figura 115 apresenta os resultados das análises granulométricas do perfil P1 do transecto T2w. A pequena profundidade amostrada se dá em função do afloramento do nível freático local. Mesmo assim, a textura das camadas apresenta variações significativas desde muito argilosas, com valor máximo de 702,10 g/cm^{-3}, com desvio padrão de 286,02 até muito arenosas, enquanto a camada superficial é argilosa, mas com presença de areia grossa. Entre 5 cm e 11 cm, ocorre camada composta predominantemente por areia grossa, seguida, em profundidade, de uma camada muito argilosa, com pouquíssimo teor de areia.

Figura 115 - Caracterização granulométrica do Perfil 1 - transecto T2w.

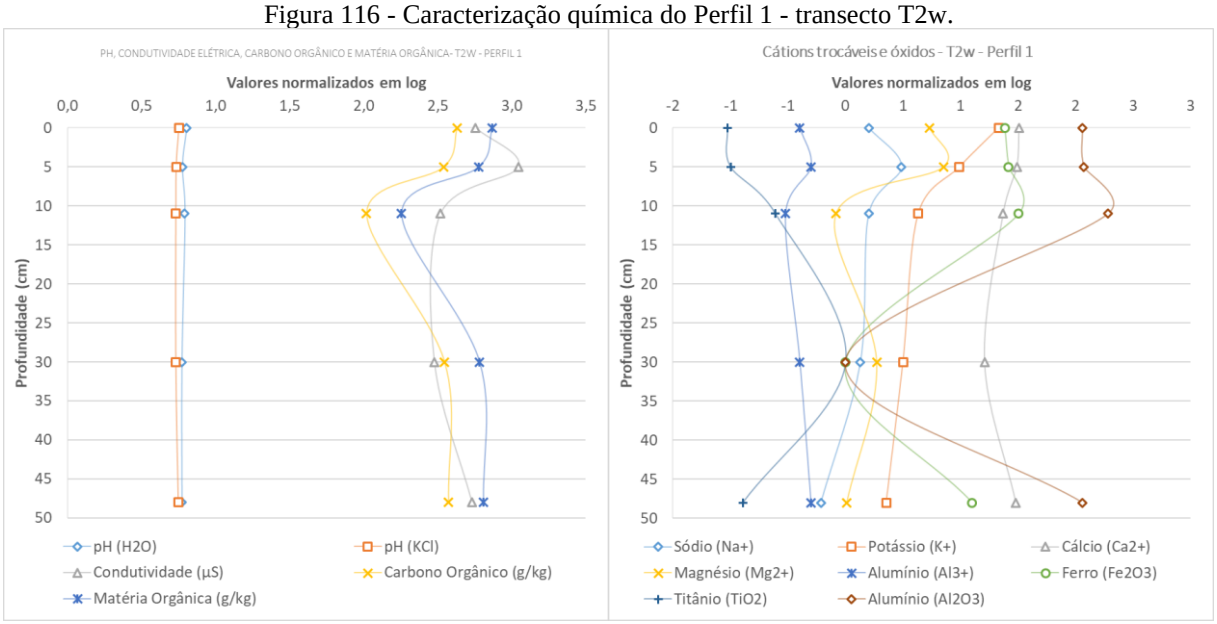


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Esta composição permite inferir que a área no passado deve ter sido submetida a um ritmo de inundações mais constante, com baixa energia hidráulica, mas que, atualmente, vem passando por um período mais úmido, estando sujeita a processos de deposição de areia que podem ser oriundos do rio Pandeiros, ou das vertentes do entorno desta área.

A figura 116 apresenta o resultado das análises químicas das geocoberturas do perfil P1 do transecto T2w. Os valores de pH (H_20), registram média de 6,06 e a CE também apresenta valores muito elevados, com máxima de 1.110 µS e média de 570 µS. Um comportamento diferenciado dos dados de MO com relação aos analisados até agora, é que seu maior teor com valor máximo de 738,40 g/kg e médio de 553,68 g/kg, ocorre justamente nas camadas mais arenosas. A MO, como verificado em campo encontra-se em vários estágios de decomposição, conforme verificado em trabalho de campo. Entre 11 cm e 30 cm, que corresponde a camada mais argilosa, os valores de MO são altos, porém, inferiores aos das camadas arenosas.

Figura 116 - Caracterização química do Perfil 1 - transecto T2w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os teores mais elevados são dos óxidos de Al e Fe, além do Ca, com valores médios de 134,41 g/kg^{-1}, 23,72 g/kg^{-1} e 26,58 g/kg^{-1}, respectivamente. Na profundidade de 30 cm os valores dos óxidos e cátions livres, exceto Na, Mg e Ca, não foram aferidos devido a indisponibilidade de amostras para realizar estes ensaios. Contudo, os valores próximos a 50 cm de profundidade parecem indicar uma estabilidade em sua distribuição. Os menores teores são os de Ti e Alumínio trocável, com média de 0,14 g/kg^{-1} e 0,42 cmolc/dm^{-3}, respectivamente (Figura 116).

Nesta área, que se apresentava drenada durante o levantamento de campo, há a ocorrência de fendas longitudinais com início na camada mais superficial que continuam até a base do perfil, com largura de até 10 cm entre as paredes. Elas são, provavelmente, decorrentes da expansão e contração das altas quantidades de MO, em média 553,68 g/kg, e de argila, com

média de 506,77 g/cm^{-3}, depositadas no perfil, e que neste período, estava mais seca (Figura 117).

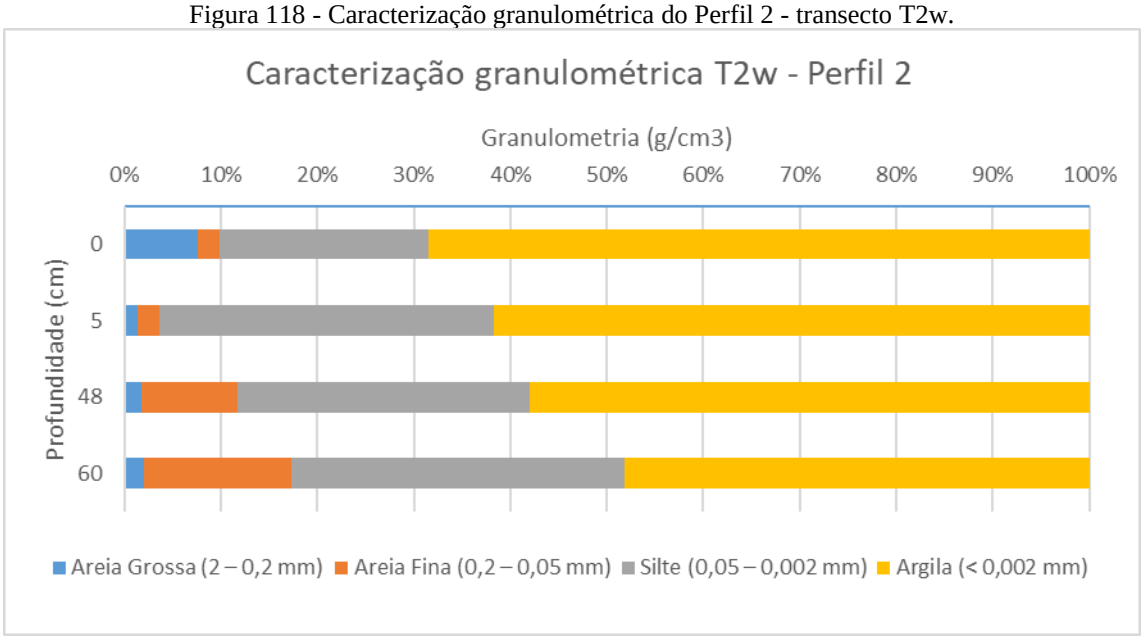
Figura 117 - Fendas nas geocoberturas características do perfil P2, transecto T2w, fotografia de janeiro de 2016.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P2 do transecto T2w corresponde a uma área de transição entre a lagoa temporária e as margens do rio Pandeiros, atualmente coberta por áreas de floresta drenada. A figura 118 revela uma geocobertura com características similares à do perfil P1 do mesmo transecto, ou seja, muito argilosa, com um valor médio de 583,68 g/cm^{-3}. Há pouca areia grossa no perfil, com média de 32,30 g/cm^{-3} e apenas a partir de 60 cm, o teor de areia fina aumenta, apesar de predominar a textura argilosa.

Figura 118 - Caracterização granulométrica do Perfil 2 - transecto T2w.

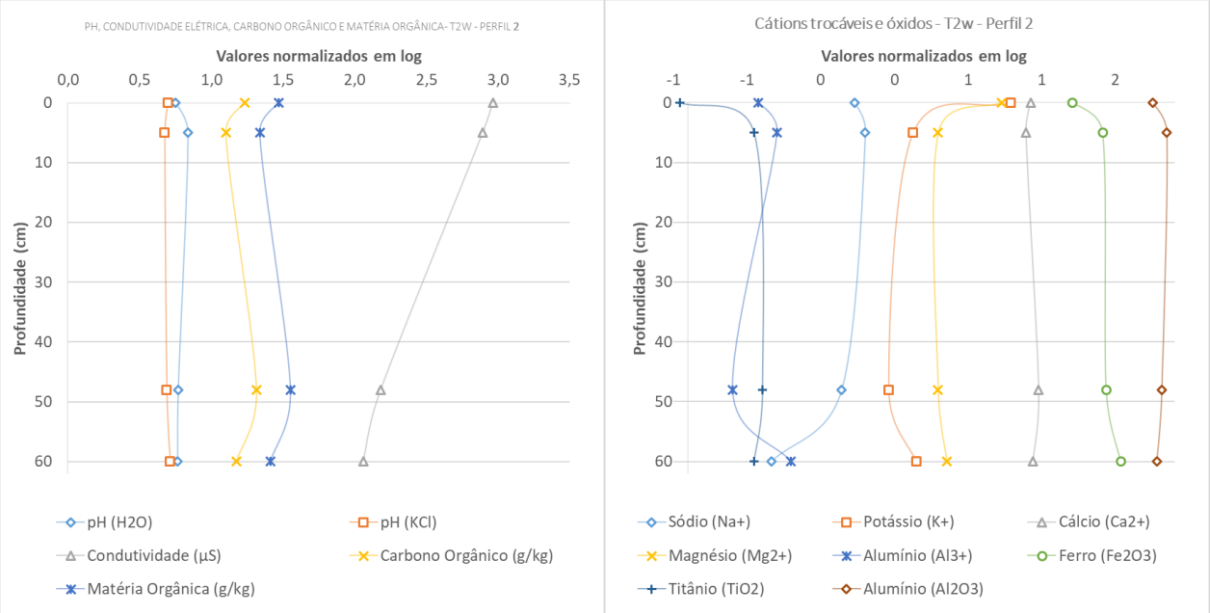


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A Figura 119 apresenta os resultados das análises químicas do perfil P2, nos quais se verificam valores médios de pH (H^2O) de 6,05 similares ao perfil P1 do transecto T2w, e valores elevados de CE próximo da superfície até 48 cm de profundidade, registrando o valor médio de 491,40 µS. Ao contrário do perfil P1, os valores da MO são bastante reduzidos ao longo do perfil, praticamente sem variação em profundidade.

Os teores dos elementos se mantêm estáveis ao longo do perfil, com as mesmas características dos demais, como predominância de óxidos de Fe, Al e do Ca na forma de cátion, com valores médios de 65,10 g/kg^{-1}, 158,60 g/kg^{-1} e 21,66 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente. Já o Ti e o Al na forma de cátion, são os menos representativos, com média de 0,24 g/kg^{-1} e 0,35 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente.

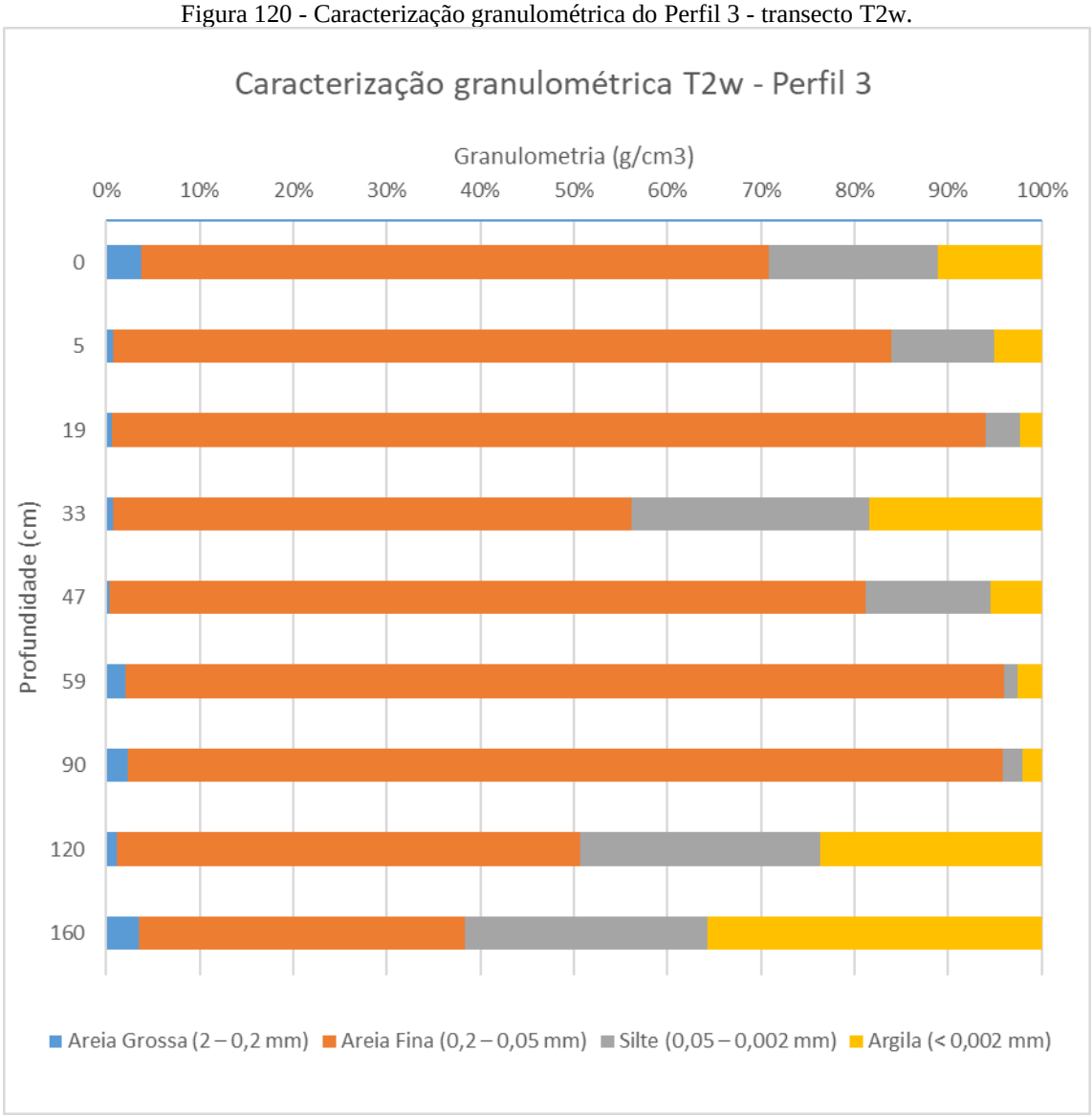
Figura 119 - Caracterização química do Perfil 2 – transecto T2w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os resultados das análises granulométricas do perfil P3 do transecto T2w (Figura 120), revelam uma composição também homogênea, mas desta vez arenosa com teor médio de areia de 729,73 g/cm^{-3}.

Figura 120 - Caracterização granulométrica do Perfil 3 - transecto T2w.

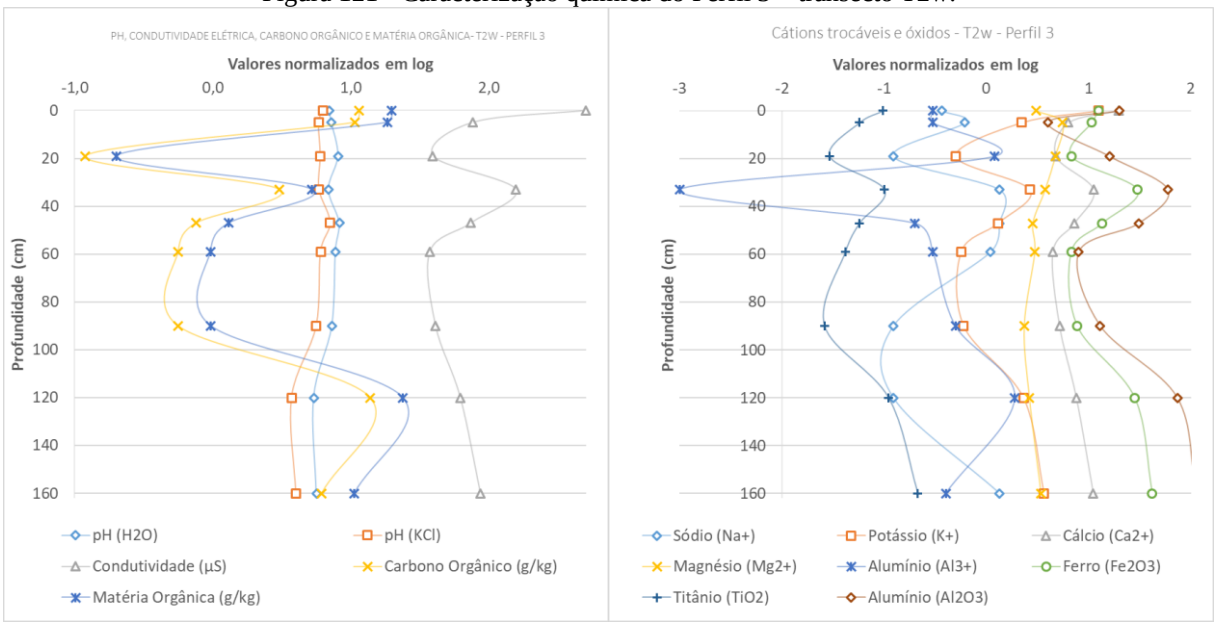


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A Figura 121 apresenta os valores das análises químicas realizadas nas coberturas do perfil P3. Percebe-se que os valores para a MO com média de 9,02 g/kg, sendo maior (23,80 g/kg) em superfície e menor (0,2 g/kg de MO e 0,1 g/kg de CO), em profundidade, com exceção da camada entre 120 cm e 160 cm, que corresponde também a um nível com mais argila e silte no perfil, são semelhantes aos perfis 1 e 2 do transecto T1w já analisados. Os valores de CE, com valor médio de 118,89 µS, são maiores apenas na superfície, chegando ao máximo de 500 µS. O pH (H_2O), contudo, com valor médio de 7,03, tende a ser maior (8,2) abaixo de 90 cm e menor (5,4), abaixo dela. A análise química do teor dos elementos apresenta uma grande instabilidade em profundidade, mantendo a predominância e escassez dos mesmos elementos

comuns ao PRP, registrando aumento entre 20 e 40 cm, principalmente para o CO, MO, com exceção para o Al^{3+}, que não teve registro.

Figura 121 - Caracterização química do Perfil 3 – transecto T2w.



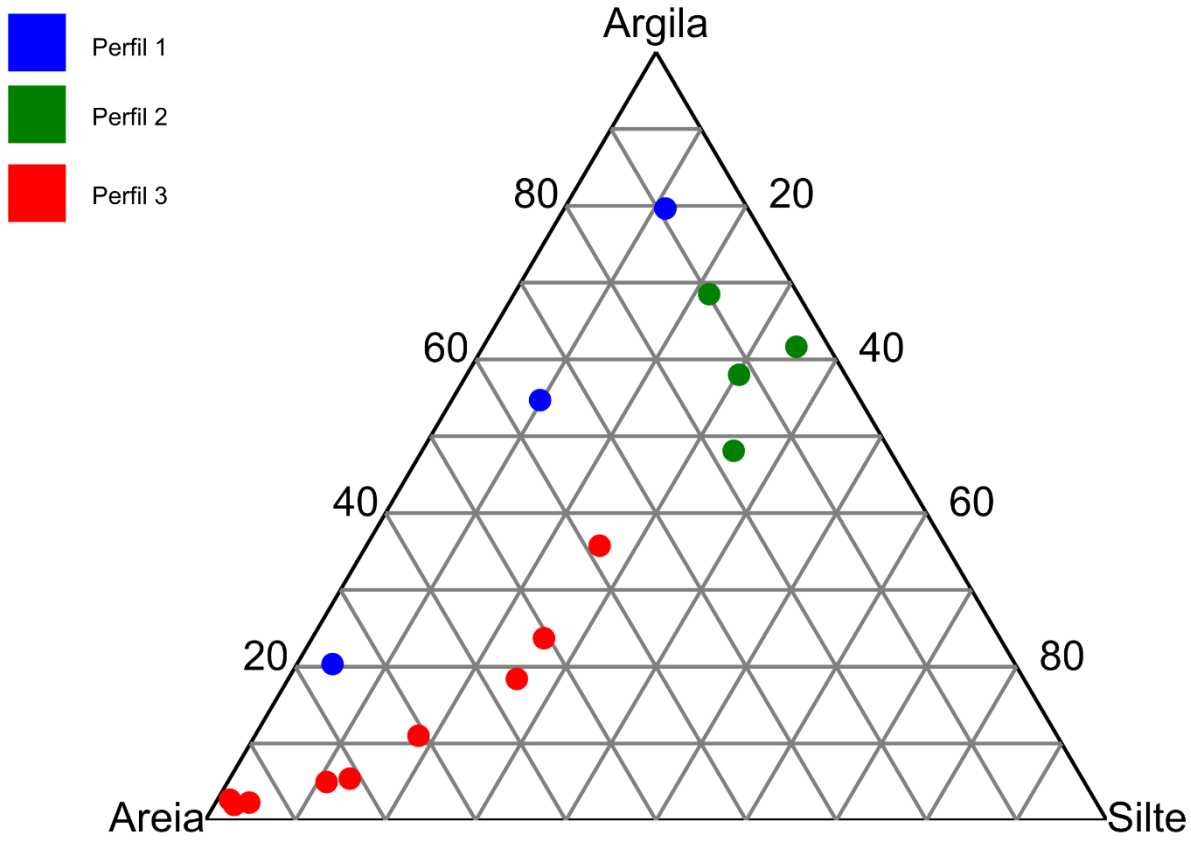
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.4.2. Análise lateral do transecto T2w

O diagrama ternário adaptado de Flemming (2000), com base nos dados de granulometria das geocoberturas do transecto T2w (Figura 122), mostra uma evolução nos ambientes desta área, permitindo correlacionar a posição dos dados no gráfico com o nível de energia de deposição envolvido.

O perfil P1 indica grande variação de energia, desde alta, apontada, no gráfico da figura 122, pela concentração de material no eixo da areia verificada no P3, até a baixa energia, indicada pela acumulação de granulometrias finas próximas do eixo do silte-argila do P2.

Figura 122 - Classificação textural do transecto T2w, indicando o tipo de ambiente de deposição.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os dados dos perfis do transecto T2w, apresentados na figura 123, estão comparados lateralmente, por meio dos valores médios das variáveis obtidas em cada perfil objetivando identificar características comuns ou diferentes entre eles.

A areia grossa apresenta redução a partir do P1, ficando estável, em quantidade mínima, a partir de P2. A areia fina, ao contrário, aumenta a partir de P1 atingindo seu máximo no P3, com teores acima de 60%. Já os valores de silte são mais elevados no P2, onde atinge a média de quase 30% do volume sólido das geocoberturas, tendo seu valor mínimo no P1 e intermediário no P3. Os valores de argila são estáveis nos perfis P1 e P2, com média próxima a 60% do volume das geocoberturas e sofrendo grande redução no P3, com uma média abaixo de 20%. Esta distribuição textural é semelhante à do transecto T1w, ambos com maiores teores de areia fina, o que pode indicar uma composição típica de áreas próximas de margem do rio, talvez tendo feito, no passado, parte do seu dique marginal.

A composição granulométrica dos perfis P1 e P2 é distribuída entre areia grossa, silte e argila. Contudo, devido à não destruição da MO para cálculo da granulometria na análise laboratorial, os valores de areia grossa podem estar superestimados, uma vez que, no campo,

apesar de se verificar a presença de areia, foi também identificada a presença de bastante argila, cujo teor pode ter sido subestimado.

Os valores de pH se encontram mais estáveis em relação aos perfis do transecto T1w, com as médias mais elevadas em H_2O, acima de 6 e pouco abaixo de 6 em KCl, sendo que no P1 os valores são mais homogêneos, enquanto no P3 os valores mínimo e máximo são mais dispersos, com o valor mínimo abaixo de 6 e o máximo, acima de 8, em H_2O.

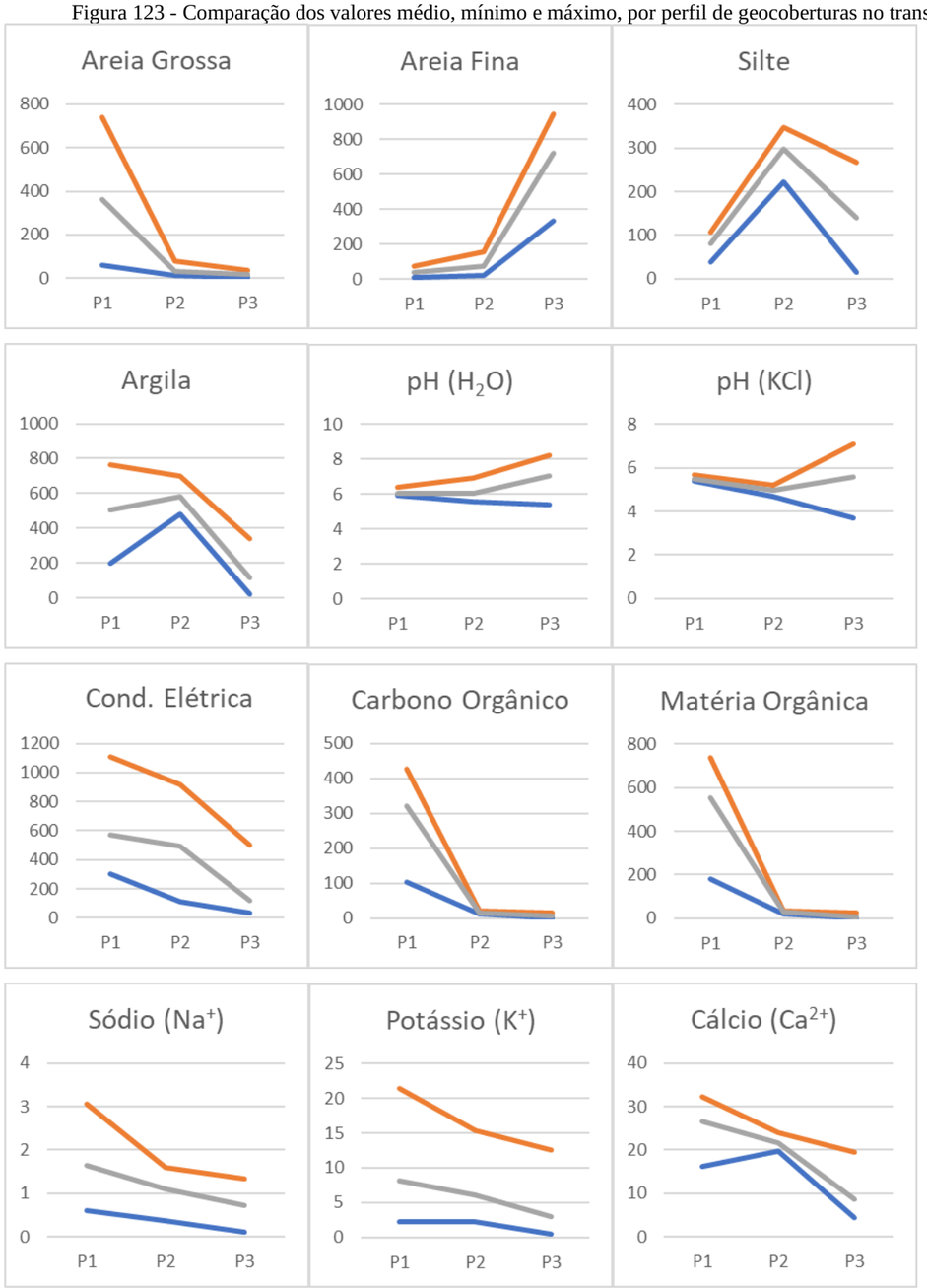
Os valores da CE são maiores no P1, com máxima acima de 1.000 µS, reduzindo-se em direção a P3, onde chegam ao valor máximo abaixo de 600 µS. Esta distribuição pode indicar que o teor de argila no P1 pode ser maior do que o mensurado estes ensaios, em que MO não foi eliminada. O CO e a MO também possuem maior quantidade no P1, com valor médio para CO acima de 300 g/kg, e redução significativa nos perfis P2 e P3, os quais possuem média muito abaixo de 100 g/kg.

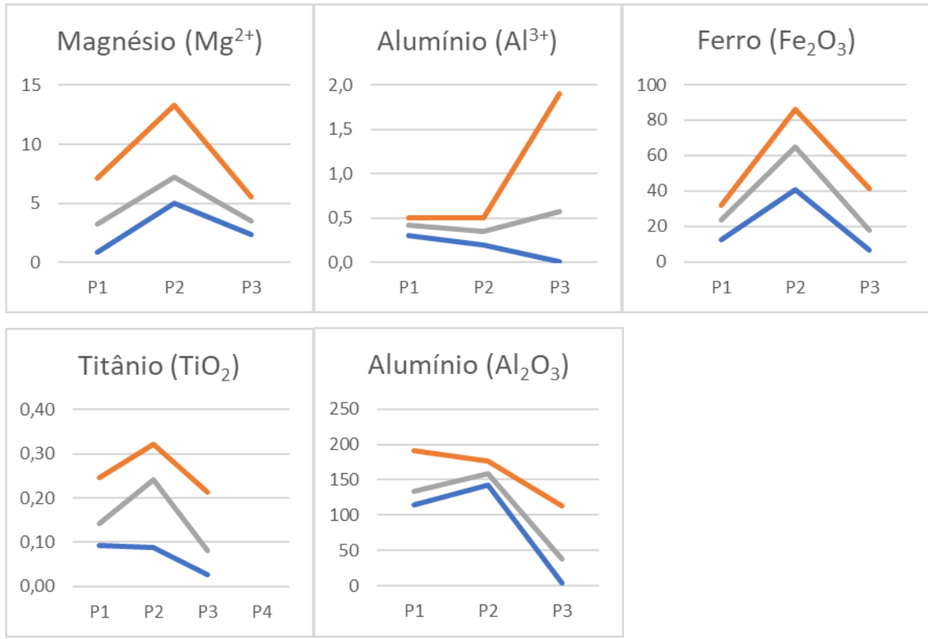
A análise dos parâmetros até agora verificados, com exceção da concentração de areia no P1, indica, à semelhança do T1w, a existência no T2w, de dois ambientes: um úmido, e outro, mais drenado que são diferentes em suas propriedades.

Esses ambientes diferenciados têm efeito também sobre os valores de cátions trocáveis Na, K, e Ca, que têm distribuição semelhante entre todos os perfis ao longo do transecto T2w, com maior quantidade no P1, que se encontra em um ambiente úmido e menor quantidade no P3, em um ambiente drenado na subunidade P2, ou seja, no Médio Pantanal. O valor mais elevado (13,36 $cmolc/dm^{-3}$) de Mg, por sua vez, também não está no perfil mais úmido, mas sim no P2, que representa um perfil de transição entre o de maior e o de menor umidade, e com valores similares nos perfis P1 e P2. O cátion do Al, novamente, possui maior quantidade no perfil drenado e mais próximo ao rio, neste caso no P3, encontrando-se estável nos perfis P1 e P2.

Os valores dos óxidos de Fe e Ti são mais elevados no P2, que é o perfil de transição entre os ambientes relativamente drenado e o mal drenado, possuindo valores de Fe similares nos perfis P1 e P3, e os valores de Ti um pouco mais baixos no P3, o perfil mais drenado. Já o óxido de Al encontra-se mais elevado entre P2 e P1, reduzindo significativamente no P3, com comportamento similar ao transecto T1w, contribuindo para a delimitação entre o ambiente úmido e drenado.

Figura 123 - Comparação dos valores médio, mínimo e máximo, por perfil de geocoberturas no transecto T2w.





Legenda:

P1: Perfil 1

P2: Perfil 2

P3: Perfil 3

Unidades de medida

Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila: g/cm^{-3}

Condutividade elétrica: µS

Carbono orgânico e matéria orgânica: g/kg

Cátions trocáveis: Sódio (Na^+), Potássio (K^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}): $cmolc/dm^{-3}$

Óxidos: Ferro (Fe_2O_3), Titânio (TiO_2) e Alumínio (Al_2O_3): g/kg^{-1}

Valor mínimo:

Valor médio:

Valor máximo:

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O *matrix plot* que representa os perfis do transecto T2w, separados por horizontes / camadas, cujos valores das análises foram normalizados, é apresentado por intensidade de cor: do azul, para valores mínimos, até o vermelho, para os valores máximos, passando pelo verde com valores médios (Figura 124). Os valores em branco representam os não calculados para as amostras.

Os valores de areia grossa são maiores (média de 361,90 g/cm^{-3}) no P1, e menores nos perfis P2 (média de 32,30 g/cm^{-3}) e P3 (média de 16.76 g/cm^{-3}). O perfil P3 destaca-se pelo seu grande teor de areia, enquanto P1 e P2 possuem os maiores teores de argila. Esta distribuição lateral corrobora a diferenciação dos ambientes neste transecto, sendo que P1 e P2 estão localizados nas margens das áreas alagáveis, permanecendo mais úmidos ao longo do ano, e P3 está mais próximo do canal atual do rio Pandeiros, em terreno mais drenado e arenoso. No P1, a areia grossa concentra-se na superfície, sendo substituída em profundidade pela argila, também predominante no P2, enquanto no P3, é a areia fina. De maneira geral, no entanto, o silte e a argila aumentam profundidade (Figura 124).

Os valores de pH (H^2O) são muito estáveis (com média entre 6,06 e 7,03) e homogêneos em todos os perfis, não permitindo diferenciar os ambientes. Já a CE é maior nos perfis do ambiente mais úmido, e com exceção das camadas superficiais dos primeiros horizontes de P3, tem um valor reduzido para o ambiente drenado (Figura 124).

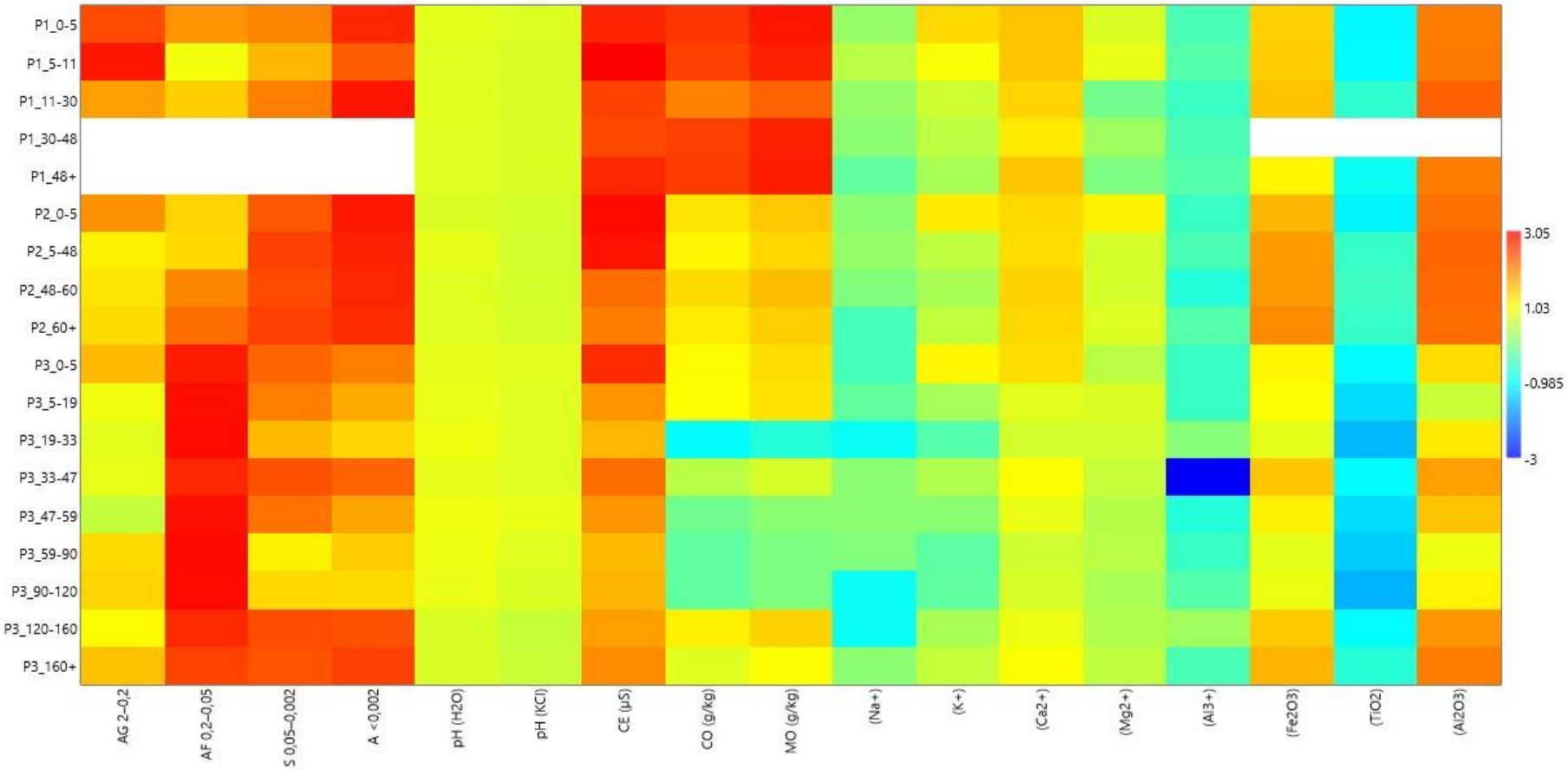
A distribuição do CO e da MO podem ser considerados bastante representativos dos perfis de ambientes úmido e drenado, sendo maior no P1, médio no P2 e muito baixo no P3. Os valores da CE e do CO são muito elevados no P1, valores estes que poderiam ainda ser maiores, pois podem ter tido parte não decomposta computada como areia grossa. Este fato indica um problema metodológico da análise textural para amostras com grande concentração desses componentes orgânicos ainda não decompostos, uma vez que o Manual da EMBRAPA (1997) utilizado no laboratório, não recomenda a eliminação de toda, ou parte, da MO das amostras.

Há uma escassez generalizada dos cátions nos perfis do transecto T2w, com ênfase para os valores baixos do Al. Os perfis do ambiente úmido tendem, contudo, a possuir maior quantidade destes elementos, assim como os horizontes superficiais do P3, o que pode estar correlacionado com a presença de cobertura vegetal arbórea e arbustiva, e com grande quantidade de serrapilheira em superfície, uma vez são muito escassos em seus horizontes profundos (Figura 124).

Os valores dos óxidos não apresentam distinção clara, embora tendam a se concentrar mais no ambiente úmido. Os valores de Ti também não foram analisados. O perfil P3 pode ser

caracterizado, principalmente em profundidade pela escassez de MO, com valor médio de 9,02 g/kg, e de Na, com valor de 0,72 cmolc/dm^{-3}. O Ca, que possui no transecto, valor médio de 8,59 cmolc/dm^{-3} está mais presente nos perfis P1 e P2 e, superficialmente, no P3, com redução em profundidade, onde há uma grande escassez também do cátion trocável Al, que possui valor médio de 0,57 cmolc/dm^{-3}. Os óxidos são mais predominantes nos perfis P1 e P2, e em profundidade no P3 (Figura 124).

Figura 124 - Comparação dos valores normalizados para as análises realizadas no transecto T2w.

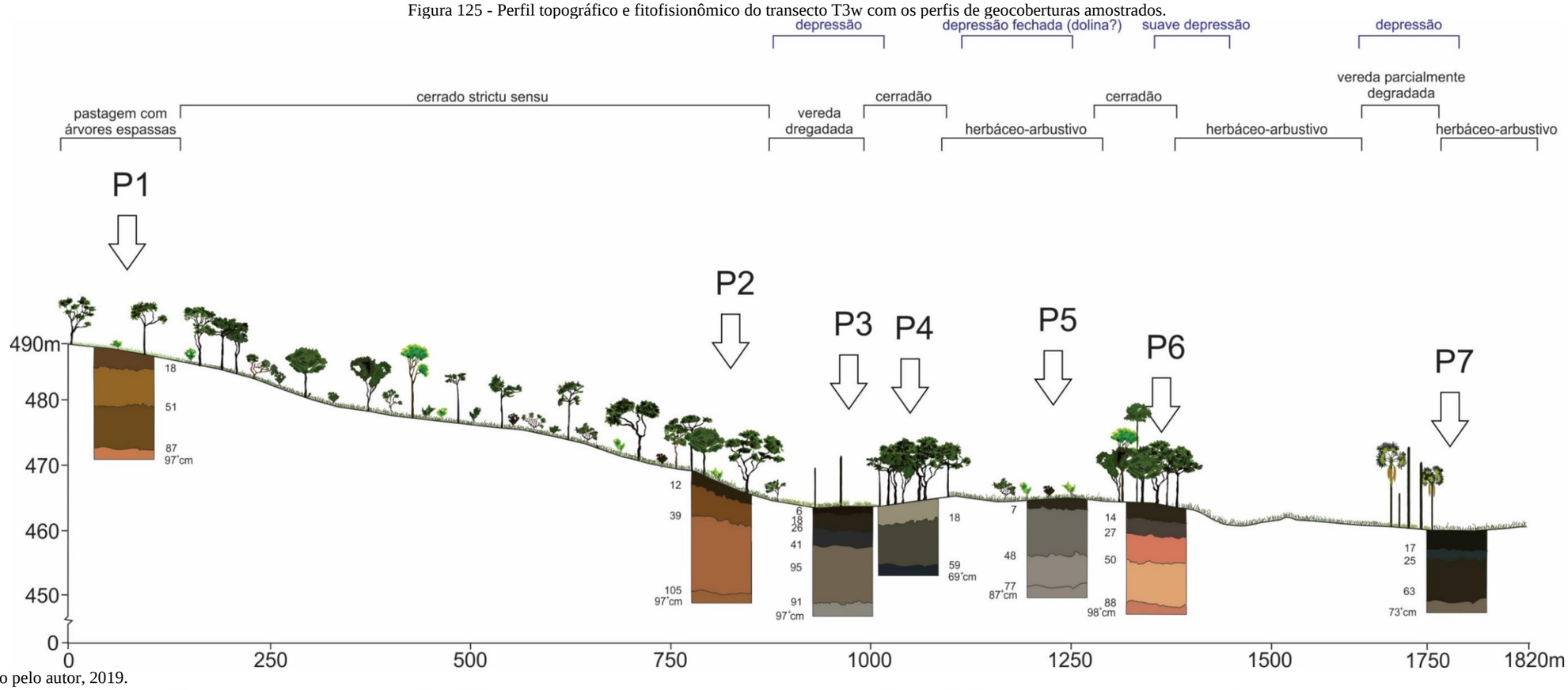


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.4.3. Análise das geocoberturas superficiais do transecto T3w

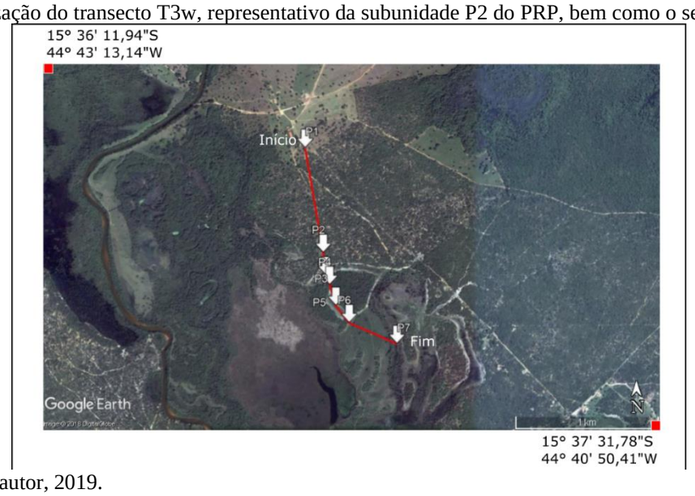
O transecto T3w da subunidade P2 do Pantanal do rio Pandeiros, é o maior em comprimento e em quantidade de perfis e cujo perfil topográfico e fitofisionômico é apresentado na figura 125, em conjunto com a sua localização em imagem de satélite, na figura 126 e apresenta fotos dos locais amostrados na figura 127. Ele tem início na porção alta e drenada da vertente e segue em direção à planície de inundação do rio Pandeiros, onde existem vários pequenos canais de drenagem, caracterizados como veredas, constituindo-se como uns dos poucos afluentes efêmeros do PRP não pertencentes a canais ou meandros do rio Pandeiros. O transecto parte de 490 m de altitude chegando até cerca de 460 m em um comprimento de 1,6 km onde foram amostrados 7 perfis.

Figura 125 - Perfil topográfico e fitofisionômico do transecto T3w com os perfis de geocoberturas amostrados.



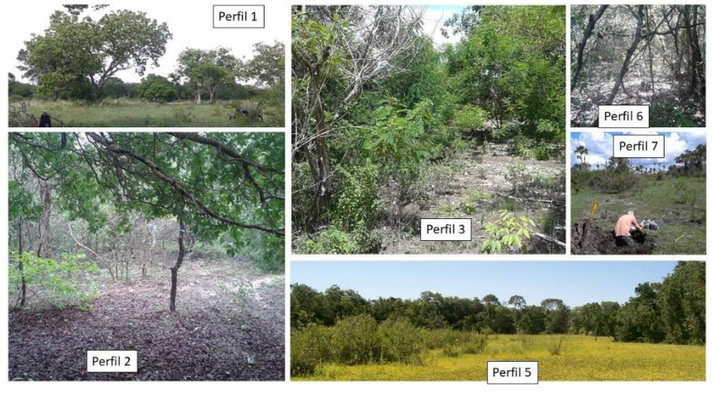
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 126 - Localização do transecto T3w, representativo da subunidade P2 do PRP, bem como o seu perfil topográfico.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 127 - Fotografias representativas da vegetação e a paisagem dos locais de amostra do transecto T3w.

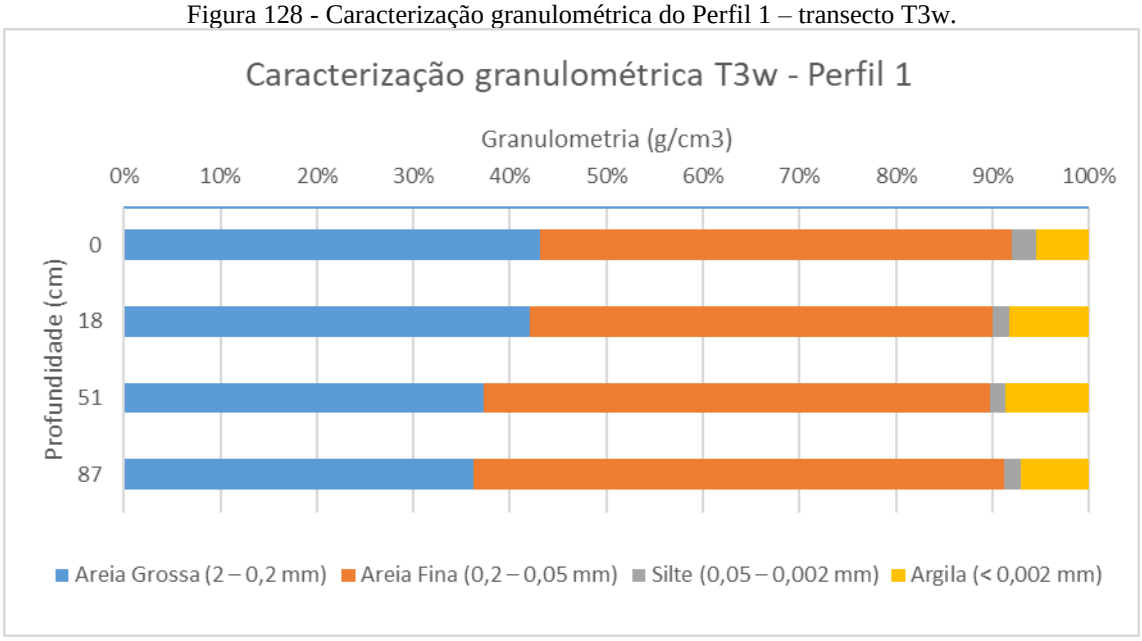


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P1 do transecto T3w está localizado na alta vertente, sob cobertura vegetal característica de Cerrado, com árvores de porte baixo e arbustos, contendo pequenas gramíneas ao redor (Figura 127).

Na figura 128 estão apresentados os resultados relativos às análises granulométricas mostrando que o P1 possui composição predominantemente de areia fina, seguido por areia grossa, com pouca variação em profundidade e pouquíssimas frações de silte e argila. Devido à sua composição essencialmente arenosa, com valor médio de 887,65 g/cm^{-3} (Figura 128), os resultados das análises químicas (Figura 129) mostram uma distribuição normal de MO com valor médio de 1,88 g/kg na superfície e menores na subsuperfície. A CE também possui baixos valores aumentando em profundidade, registrando uma média de 58,50 µS. Os valores de pH (H_2O) são baixos, se comparados aos perfis dos transectos T1w e T2w, com valor médio de 5,85 enquanto a CE sofre um aumento a partir de 90 cm.

Figura 128 - Caracterização granulométrica do Perfil 1 – transecto T3w.

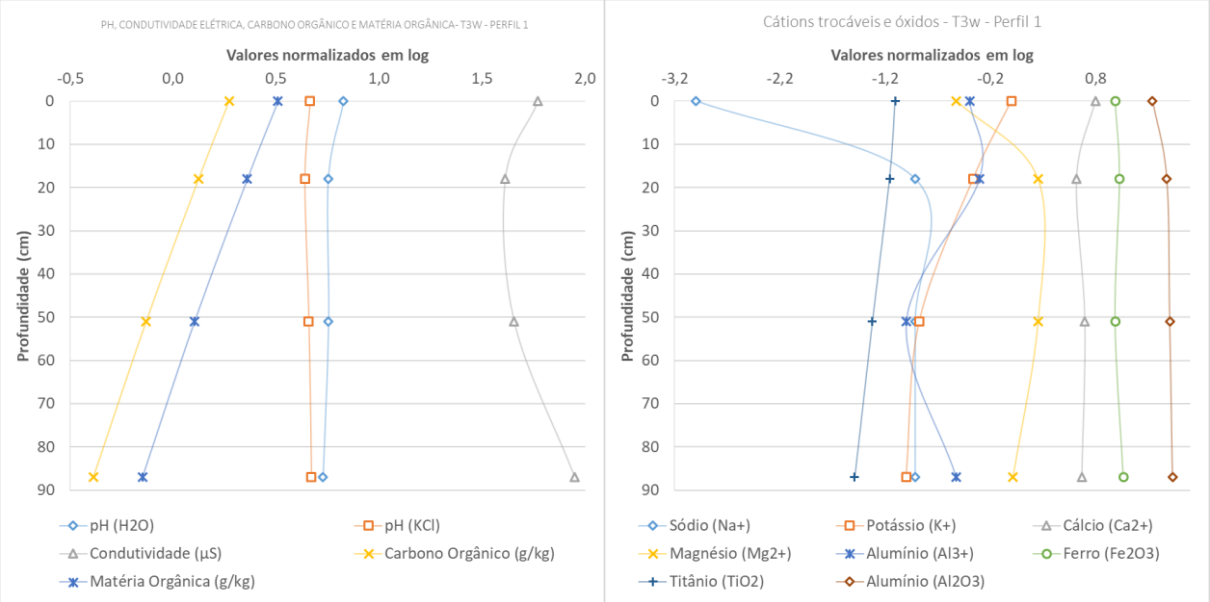


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O teor dos elementos químicos mais comuns no P1 (Figura 129), permanece o mesmo, tendo os óxidos de Fe e Al e o cátion Ca teores elevados registrando média de 10,41 g/kg^{-1}, 29,47 g/kg^{-1} e 5,03 cmolc/dm^{-3}, respectivamente. Apesar dos baixos valores de Ti serem comuns a todos os perfis neste transecto, diferentemente dos demais, neste, os valores de Na, cuja média é 0,09 cmolc/dm^{-3}, são muito baixos em superfície, aumentando até cerca de 20 cm, com o valor máximo de 0,12 cmolc/dm^{-3}, se estabilizando após esta profundidade. Os valores de Mg, cuja média é de 1,23 cmolc/dm^{-3} também seguem este comportamento. Contudo, o K,

cuja média é de 0,42 cmolc/dm^{-3} reduz o seu valor ao longo do perfil. Excluindo os valores de Na, os demais comportamentos se mantêm próximos da estabilidade.

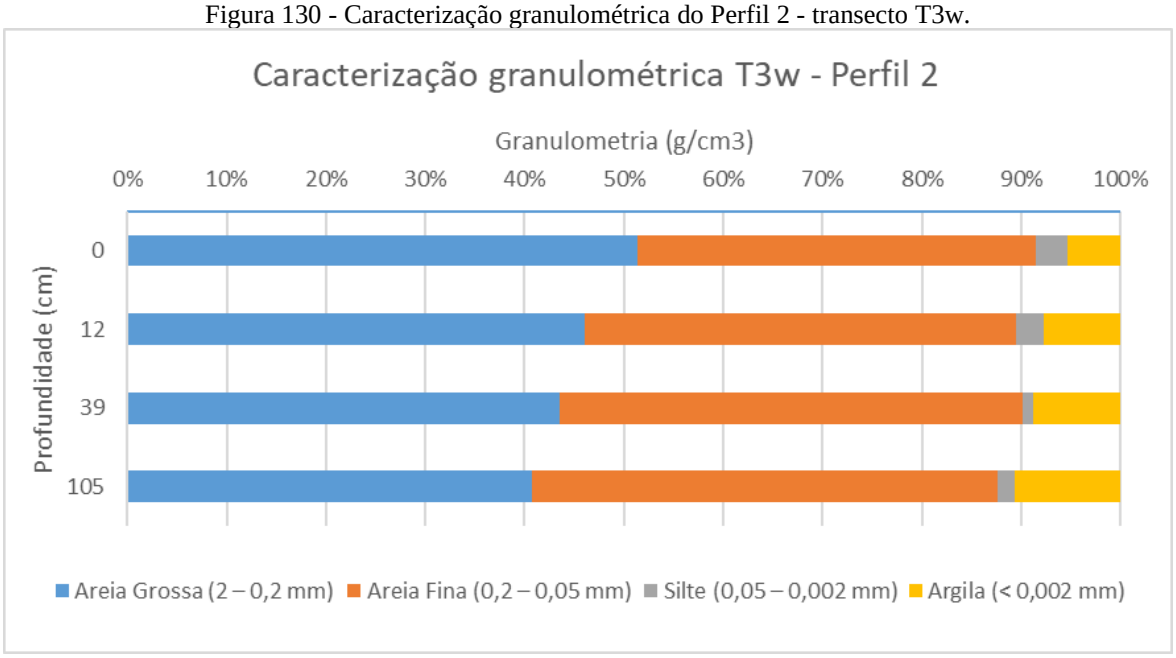
Figura 129 - Caracterização química do Perfil 1 – transecto T3w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P2 está localizado sob uma cobertura vegetal de porte arbóreo muito similar à do perfil P1, contudo em menor altitude e maior inclinação. Mesmo sob estas condições, sua composição permanece predominantemente arenosa, com valor médio de 882,88 g/cm^{-3}, embora ocorra uma camada com mais argila a partir de 105 cm de profundidade (Figura 130).

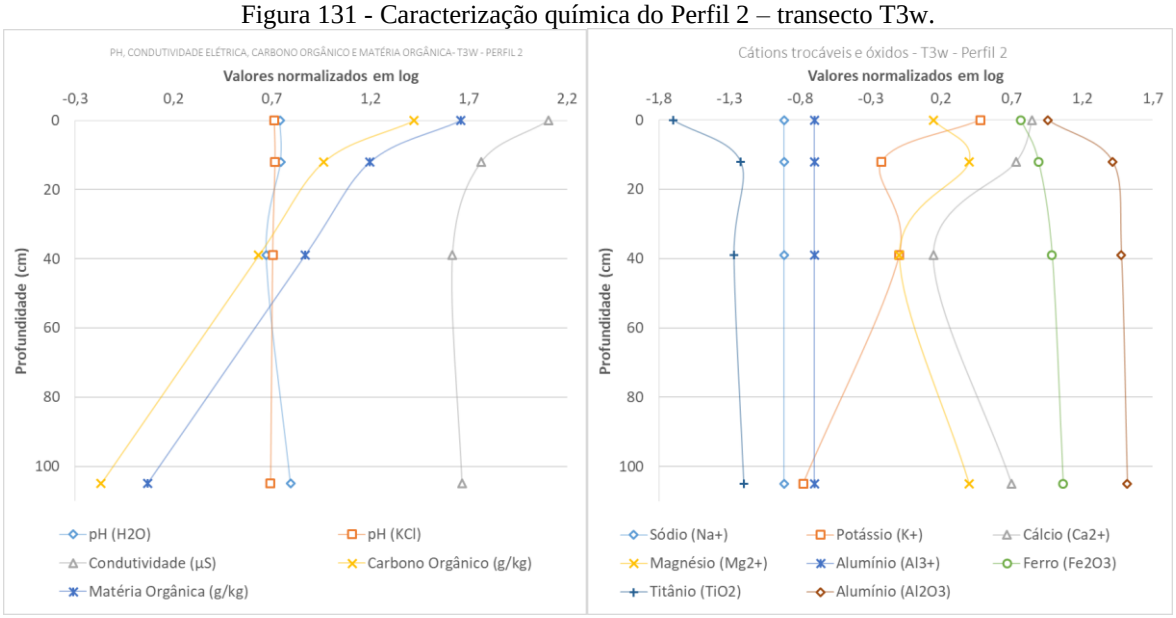
Figura 130 - Caracterização granulométrica do Perfil 2 - transecto T3w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Neste perfil, também ocorre um comportamento esperado para a distribuição de MO mais abundante em superfície e menor em profundidade, com um valor médio de 17,50 g/kg (Figura 131). O valor da CE, cuja média é de 68 µS, também apresenta este comportamento. Os valores de pH (H_2O) continuam baixos e estáveis ao longo do perfil, com valor médio de 5,48. Os elementos analisados mantêm estabilidade em profundidade, com exceção do K, que, assim como no P1, também reduz em profundidade. Os valores os óxidos de Fe e Al são os mais elevados, na superfície, e depois se mantendo estáveis, com uma média de 8,71 g/kg^{-1} e 24,47 g/kg^{-1}, respectivamente. Os valores de Ca, cuja média é 4,70 $cmolc/dm^{-3}$, também elevados, sofrem redução até 40 cm, seguido de leve aumento aos 100 cm de profundidade. Ti e Na são os elementos menos presentes no perfil, com médias de 0,05 g/kg^{-1} e 0,12 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente (Figura 131).

Figura 131 - Caracterização química do Perfil 2 – transecto T3w.



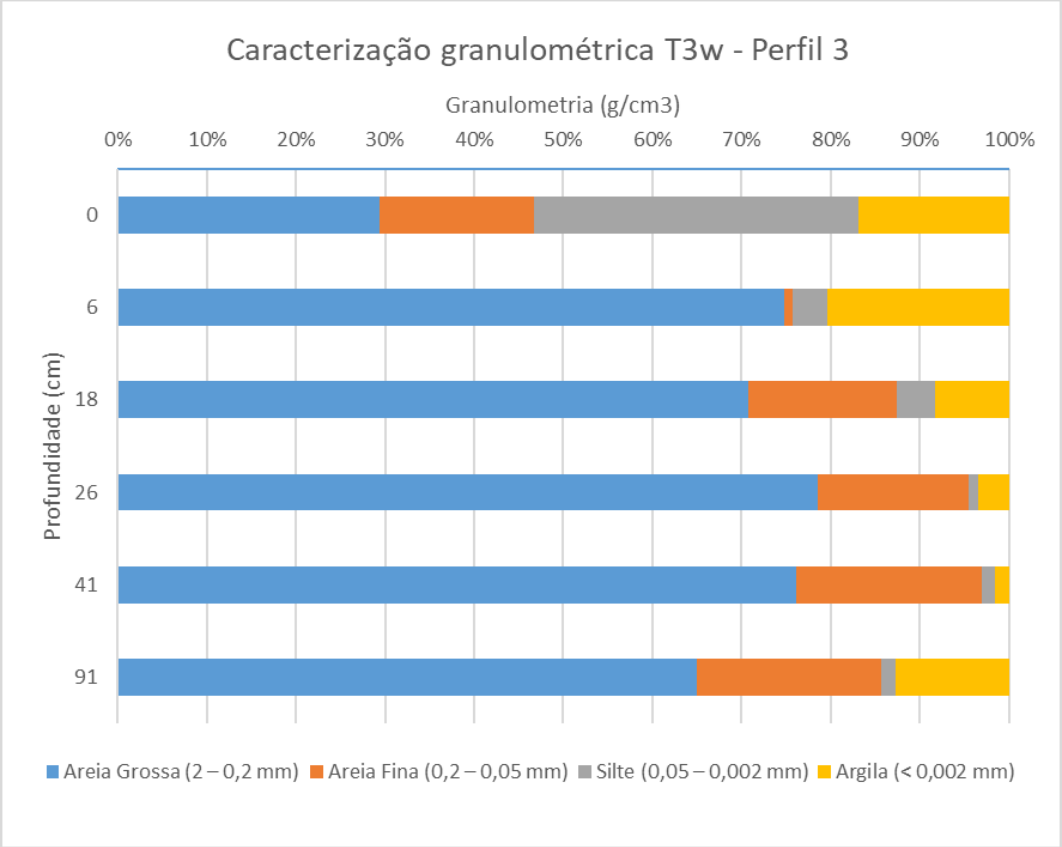
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P3 consiste na primeira depressão topográfica deste transecto, representando um canal de vereda coberto por buritis, já mortos, e arbustos no centro do canal que estava, no mês de janeiro, seco, e ao redor havia cobertura de gramíneas, cercadas pela cobertura florestal arbóreo-arbustiva (Figuras 125 e 127).

A figura 132 apresenta a composição granulométrica deste perfil que, superficialmente, é de textura média, que se torna, em profundidade, predominantemente arenosa, com valor média de 655,92 g/cm^{-3} de areia grossa. Apenas até 18 cm de profundidade, há uma quantidade maior de silte e argila; contudo, a quantidade de areia grossa permanece como sendo a de maior teor.

De acordo com a figura 133, os valores de pH (H_2O) no perfil P3 são mais elevados (média de 7,38) do que nos perfis a montante; a CE cuja média é de 152,15 µS e a MO, de 14,28 g/kg em média, são maiores em superfície, decaindo em profundidade, o que pode indicar que esta área tende a acumular materiais, principalmente solúveis, mas que isto não ocorria no passado. Esses dados e os de granulometria, principalmente entre 26 cm e 91 cm, indicam que, então, ela pode ter sido um canal de drenagem mais ativo.

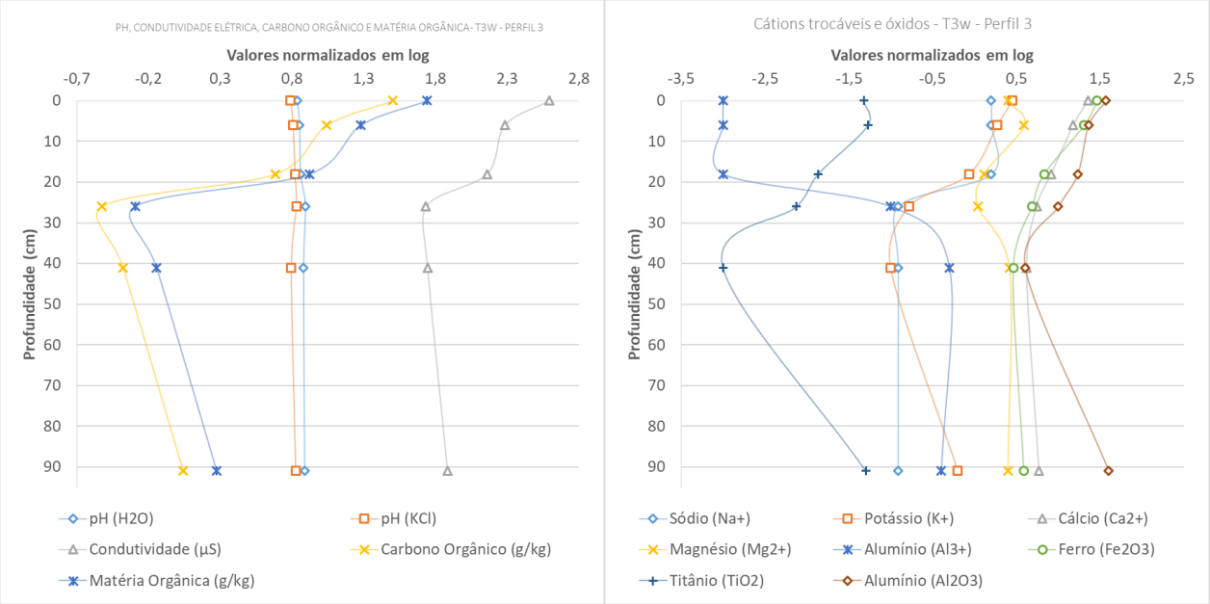
Figura 132 - Caracterização granulométrica do Perfil 3 –transecto T3w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os dados dos elementos químicos (Figura 133) mostram que os de maiores teores, mantêm o mesmo comportamento dos demais perfis do transecto T3w enquanto os de teores menores, Ti e Al, cujas médias é são de 0,03 g/kg^{-1} e 0,17 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente, apontam uma inversão na profundidade de 20 cm, quando o Na apresenta uma média de 0,86 $cmolc/dm^{-3}$, o segundo menor teor do perfil, e o Al^{3+}sofre um aumento significativo (aproximadamente de 100 vezes maior, saindo de 0,001 $cmolc/dm^{-3}$ até 18 cm e indo para 0,1 $cmolc/dm^{-3}$ a partir de 26 cm de profundidade). A variabilidade dos teores em profundidade é grande o que pode indicar, ou uma influência do nível freático na movimentação destes elementos, ou a alteração da textura dos materiais a partir de 20 cm, que poderia também ser responsável por este comportamento.

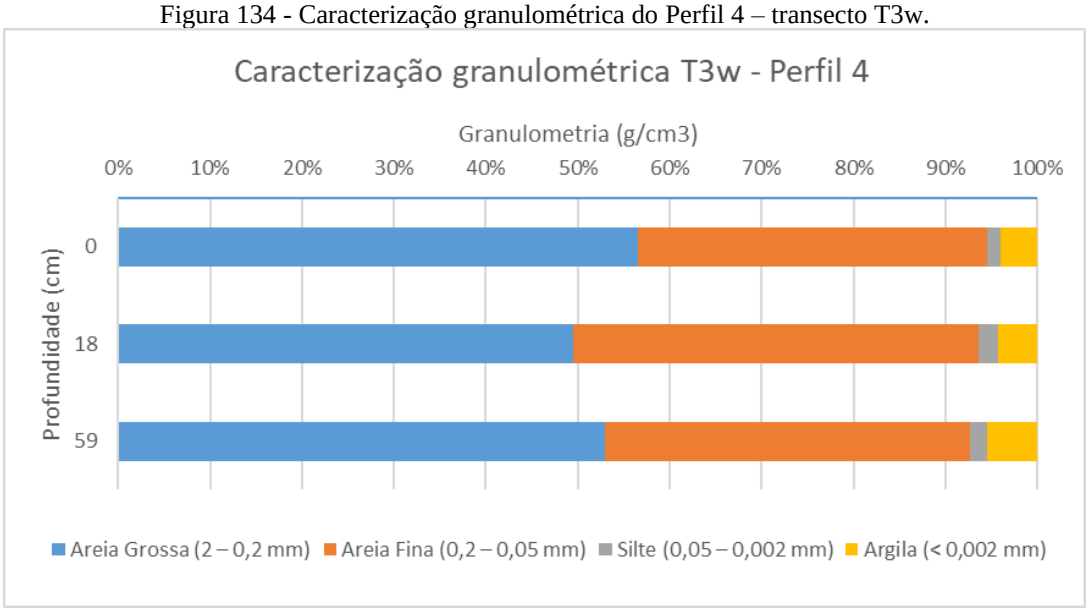
Figura 133 - Caracterização química do Perfil 3 – transecto T3w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P4 representa uma mudança de ambiente no transecto, tratando-se de uma área drenada, sob cobertura vegetal de floresta arbórea de grande porte, situada do outro lado do canal da vereda (Figuras 125, 126 e 127). Sua composição granulométrica (Figura 134) é muito homogênea, com predominância da areia grossa (valor médio de 525,93 g/cm^{-3}), seguido da areia fina e pouquíssimas quantidades de silte e argila, cuja média é de 17,93 g/cm^{-3} e 45,70 g/cm^{-3} ao longo de todo o perfil.

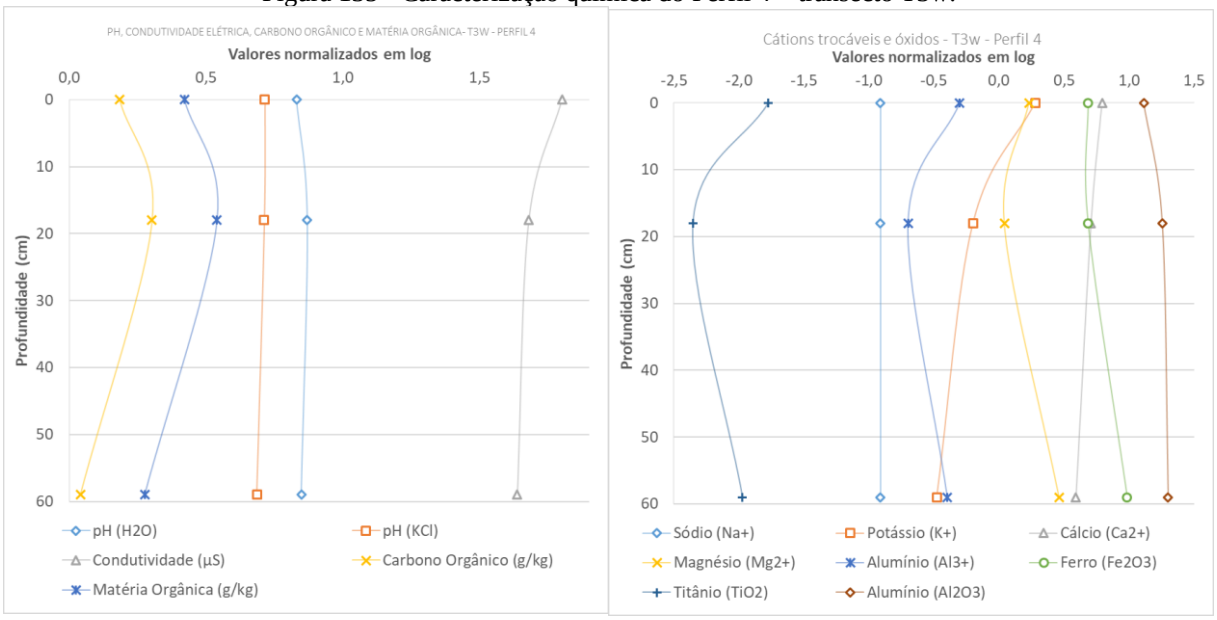
Figura 134 - Caracterização granulométrica do Perfil 4 – transecto T3w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 135 apresenta as variações dos valores das análises químicas ao longo do perfil P4, na qual percebe-se valores menores para o pH (H_2O), cuja média é de 7,10, em relação ao perfil P3 e mais similares aos perfis P1 e P2. A CE apresenta valores homogêneos ao longo do perfil, com valor médio de 51,37 µS; contudo a MO, com média 2,67 g/kg, tem um padrão diferente, com baixos valores, mas uma maior concentração entre 18 cm a 59 cm, talvez causada pela intensa atividade biológica existente na área, tanto em superfície, como em subsuperfície, reduzindo-se em profundidade. A distribuição dos elementos é estável, mantendo os padrões da área, ou seja, maior teor de óxidos de Fe, Al e Ca^{2+}, com valores médios de 6,45 g/kg^{-1}, 16,99 g/kg^{-1} e 5,07 $cmolc/dm^{-3}$ respectivamente, e menores para Ti e Na^{+}, com médias de 0,01 g/kg^{-1} e 0,12 $cmolc/dm^{-3}$.

Figura 135 - Caracterização química do Perfil 4 – transecto T3w.

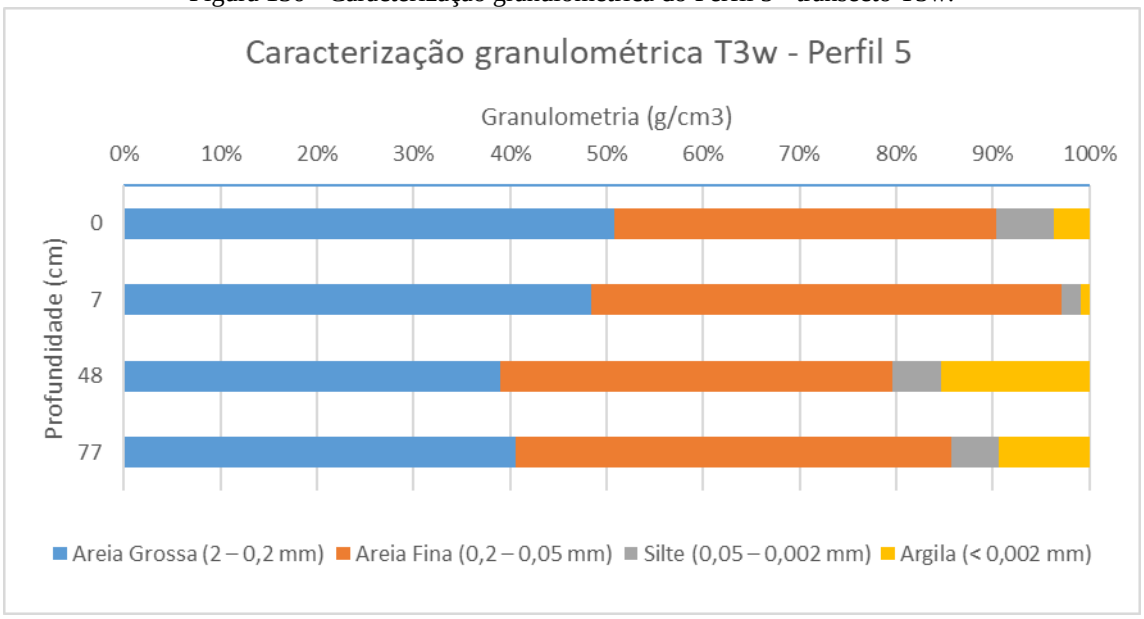


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P5 do transecto T3w está localizado em uma pequena depressão, formada por uma antiga lagoa isolada, sem aberturas de entrada ou saída de canais de drenagem, semelhante à forma de uma dolina (Figuras 125 e 127). Por isto, é possível assumir que ela, atualmente, não sofra inundação constante, exceto durante episódios de inundação muito intensa. Os valores de granulometria (Figura 136), revelam um perfil predominantemente arenoso, formado por areia grossa (valor médio de 444,13 g/cm^{-3}) e areia fina (média de 433,83 g/cm^{-3}) e pouco silte e argila (médias de 44,78 g/cm^{-3} e 74,28 g/cm^{-3}respectivamente), com exceção da camada entre 48 cm a 77 cm, que apresenta um teor maior de silte (51,9 g/cm^{-3} e 49,4 g/cm^{-3}, respectivamente)

e argila (157 g/cm^{-3} e 95,4 g/cm^{-3}, respectivamente), mas que ainda pode ser considerado arenoso.

Figura 136 - Caracterização granulométrica do Perfil 5 - transecto T3w.

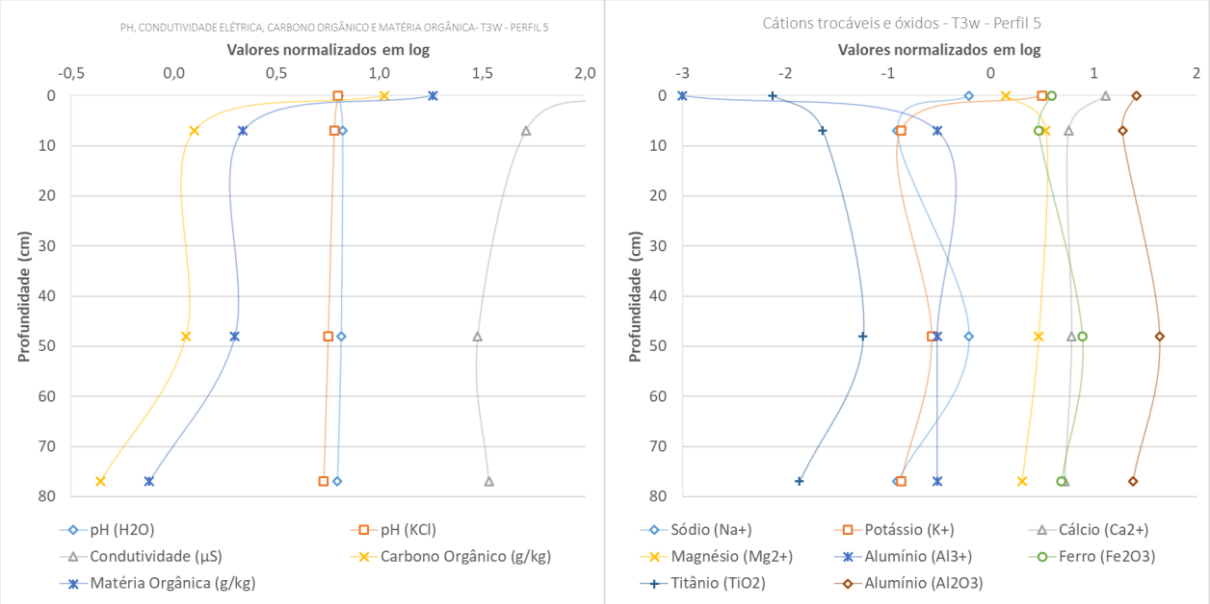


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na Figura 137 estão os resultados das análises químicas, com os maiores valores médios de pH (H^2O) do perfil (6,4) e da CE (média de 63,38 µS) e da MO com valor médio comum de 5,80 g/kg, com os maiores valores ocorrendo na superfície e menores em profundidade, como pode ser notado partir de 77 cm.

O cátion do Al (média de 0,23 cmolc/dm^{-3}) possui o menor valor nas camadas superficiais, sofrendo um aumento abrupto do valor máximo a partir de 10 cm (0,30 cmolc/dm^{-3}) ficando, depois, estável no restante do perfil. Já K e Na, respectivamente com valores médios de 0,92 cmolc/dm^{-3} e 0,37 cmolc/dm^{-3} estão concentrados nas camadas superficiais, sofrendo redução a 10 cm, para também se tornarem estáveis em profundidade. Embora os valores dos elementos químicos variem das camadas mais superficiais para aquelas em profundidade, mantêm os maiores teores comuns aos dos demais perfis.

Figura 137 - Caracterização química do Perfil 5 - transecto T3w.

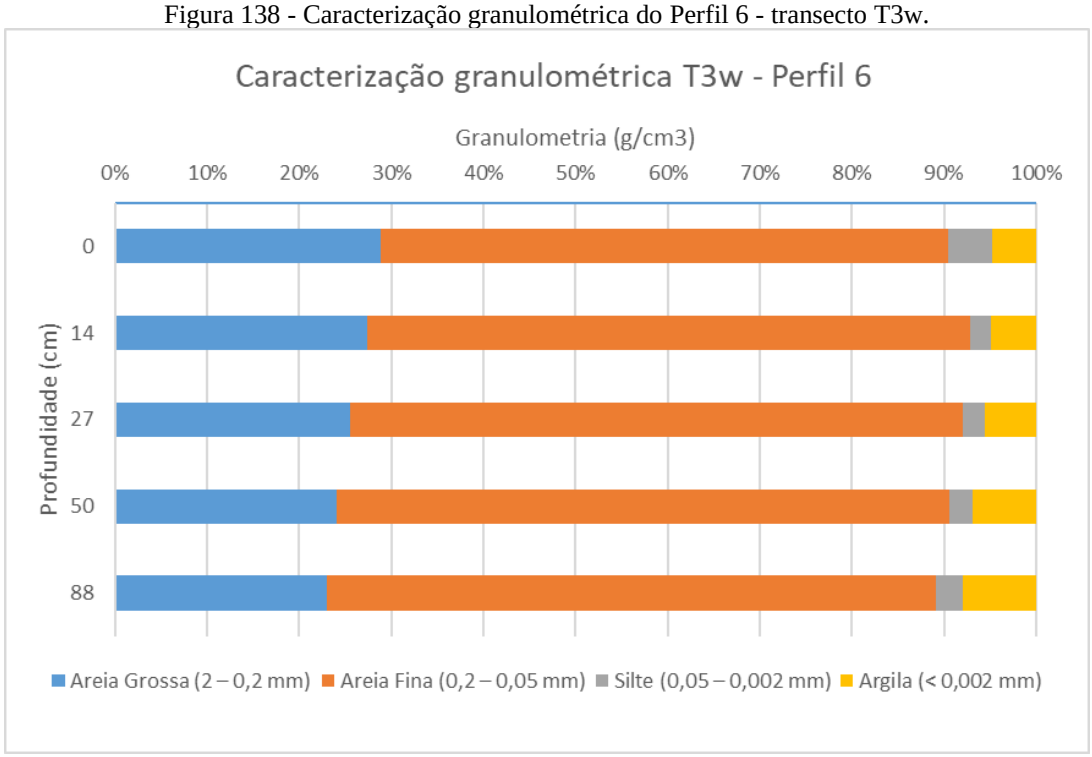


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os dados do perfil P6 deste transecto apresentam uma correspondência muito grande com os do perfil P4 do mesmo transecto. Eles encontram-se localizados no entorno da depressão onde foi amostrado o perfil P5 e entre os canais das veredas, onde os perfis P3 e P7 foram posicionados. A figura 138 apresenta os resultados das análises granulométricas do perfil P6, predominantemente composto de areia fina (647,20 g/cm^{-3}), do que no perfil P4, onde há um pouco mais de areia grossa. Os teores de silte e argila são muito baixos (médias de 29,16 g/cm^{-3} e 59,82 g/cm^{-3}) e homogêneos ao longo do perfil.

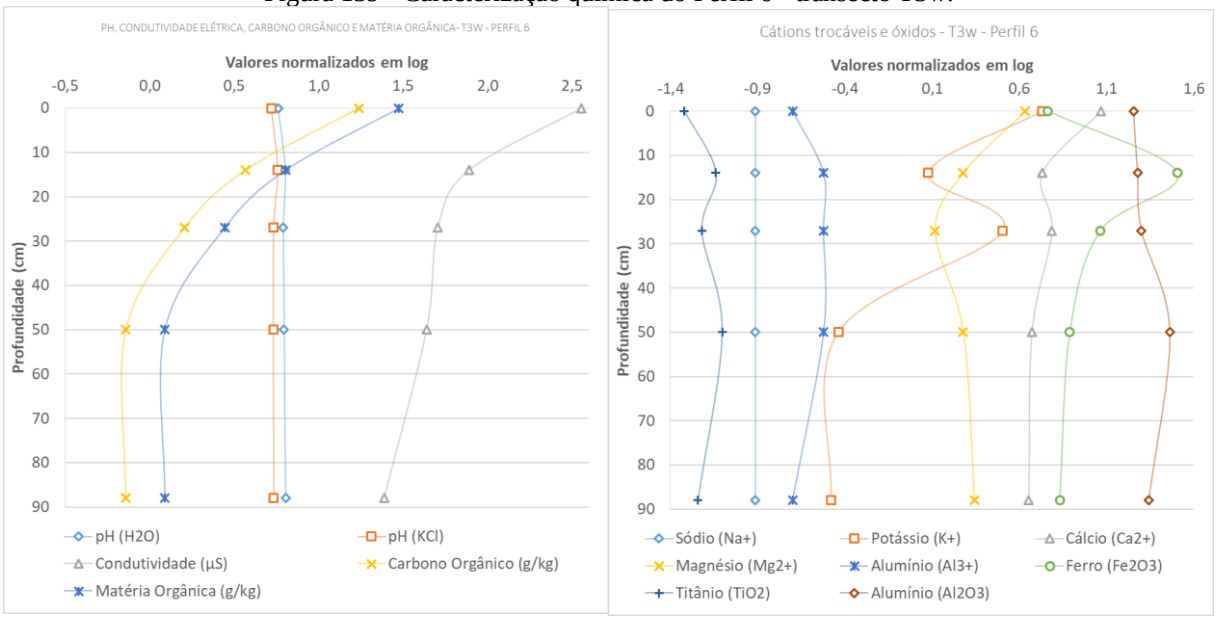
Os resultados das análises químicas do perfil P6 (Figura 139), indicam valores comuns aos demais perfis, com uma média de pH em H_2O de 6,20, uma quantidade média de 8,30 g/kg de MO e média de 111,26 µS de CE nas camadas superiores, com redução em profundidade. Os valores de pH são similares aos encontrados nos demais perfis (P4 e P2) do transecto T3w, mas menores nas camadas superficiais, e mantendo-se constantes a partir de 14 cm. Há uma alteração muito grande do K (valor médio é de 2,10 cmolc/dm^{-3}) em profundidade, seguido do óxido de Fe (valor médio é de 12,78 g/kg^{-1}) mesmo que este, juntamente com o óxido de Al (valor médio é de 21,56 g/kg^{-1}) e o cátion Ca (6,48 cmolc/dm^{-3}) sejam os elementos com os maiores teores nas geocoberturas. O óxido de Ti e o cátion de Na são os elementos com menor teor e maior estabilidade no perfil, com valores médios de 0,06 g/kg^{-1} e 0,12 cmolc/dm^{-3} respectivamente.

Figura 138 - Caracterização granulométrica do Perfil 6 - transecto T3w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 139 - Caracterização química do Perfil 6 - transecto T3w.

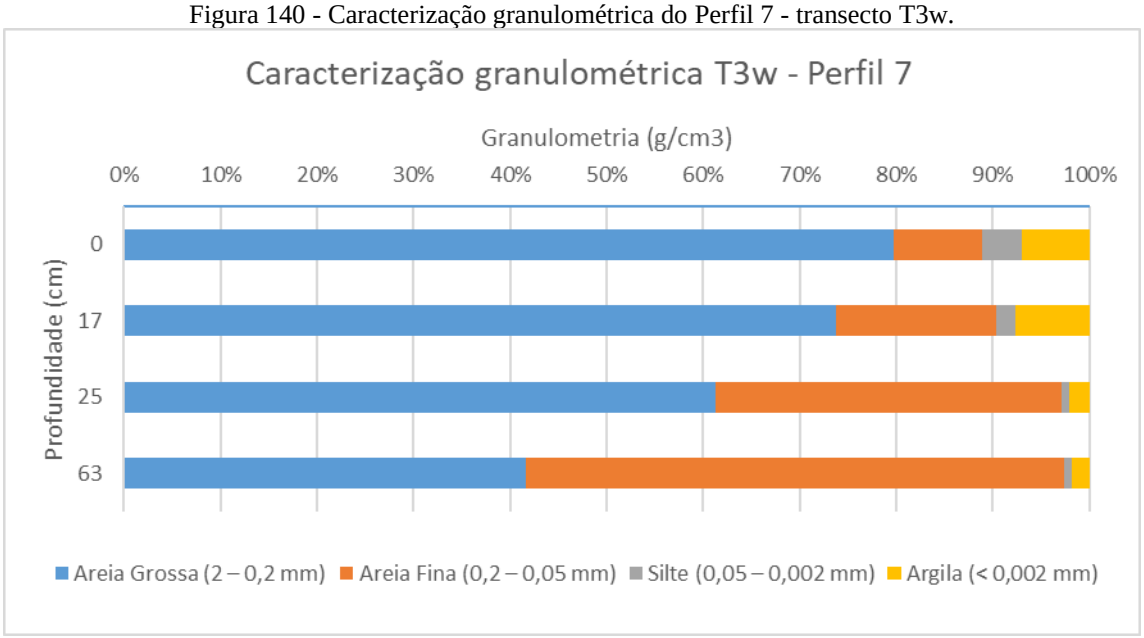


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O último perfil deste transecto está localizado nas margens do canal de uma vereda que não tem drenagem perene, já na planície de inundação do rio Pandeiros. A figura 140 apresenta os resultados da análise granulométrica deste perfil P7, no qual a areia grossa é o principal componente da fração mineral da geocoberturas, com valor médio de 634,75 g/cm^{-3}. Os valores são muito constantes ao longo do perfil, sendo que apenas em 63 cm, quando aflora

o nível freático, há um pouco mais de areia fina do que areia grossa. Silte e argila existem têm quantidades muito pequenas no perfil, com valor médio de 19,15 g/cm^{-3} e 45,73 g/cm^{-3}, respectivamente, o que pode indicar uma predominância de processos e de ambientes de maior energia ao longo do passado mais recente deste e dos últimos perfis do transecto T3w.

Figura 140 - Caracterização granulométrica do Perfil 7 - transecto T3w.

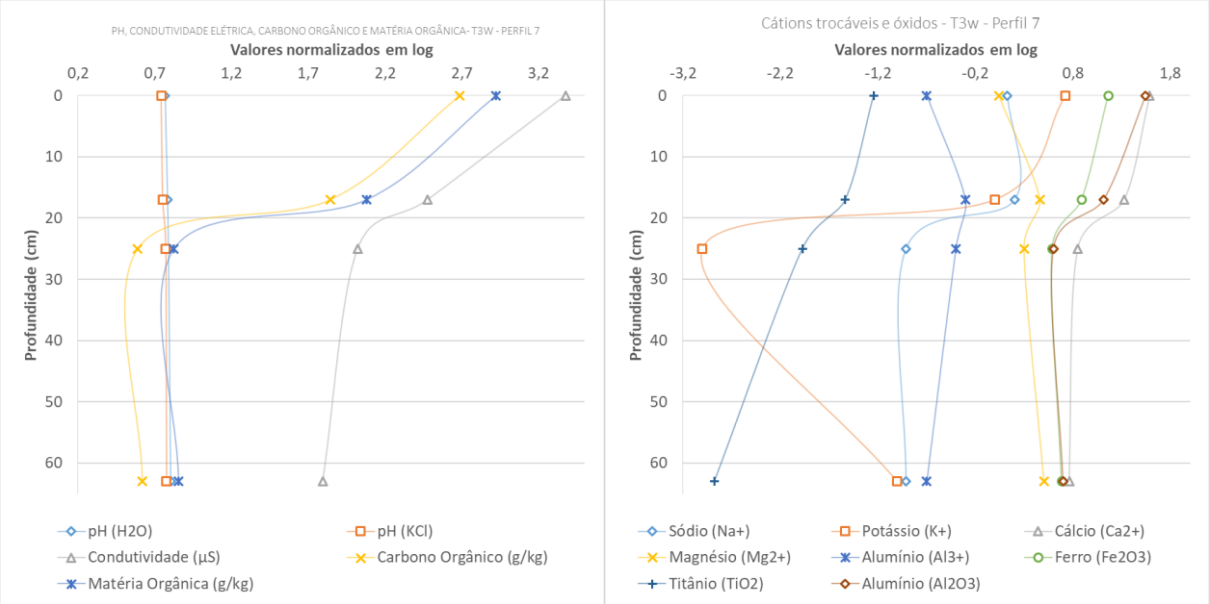


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Conforme os resultados das análises químicas do perfil P7 (Figura 141) até os 25 cm existe uma grande concentração de MO cujo valor médio no perfil é de 243,38 g/kg, que contribui também para o aumento da CE que volta a registrar altos valores, com média para o perfil de 709,45 µS e valor máximo de 2.370 µS. Como grande parte da MO deste perfil ocorre até os 17 cm ainda está em decomposição, os valores de pH (H_2O) são mais baixos com (valor médio de 6,15). A partir de 25 cm de profundidade há uma grande redução na quantidade da MO, com consequente redução da CE.

Os elementos químicos apresentam uma grande diferenciação entre 20 cm e 30 cm, incluindo uma oscilação muito grande do K, que passa de um dos elementos com maior teor nas camadas superiores do perfil, para o menor entre 20 cm e 30 cm, aumentando o valor novamente próximo de 60 cm, registrando um valor médio de 1,61 cmolc/dm^{-3}. Comportamento semelhante ocorre também com o Na, cujo valor médio no perfil é de 0,80 cmolc/dm^{-3}, bem como os de outros elementos, incluindo os óxidos, que sofrem redução a partir de 20 cm – 30 cm.

Figura 141 - Caracterização química do Perfil 7 - transecto T3w.



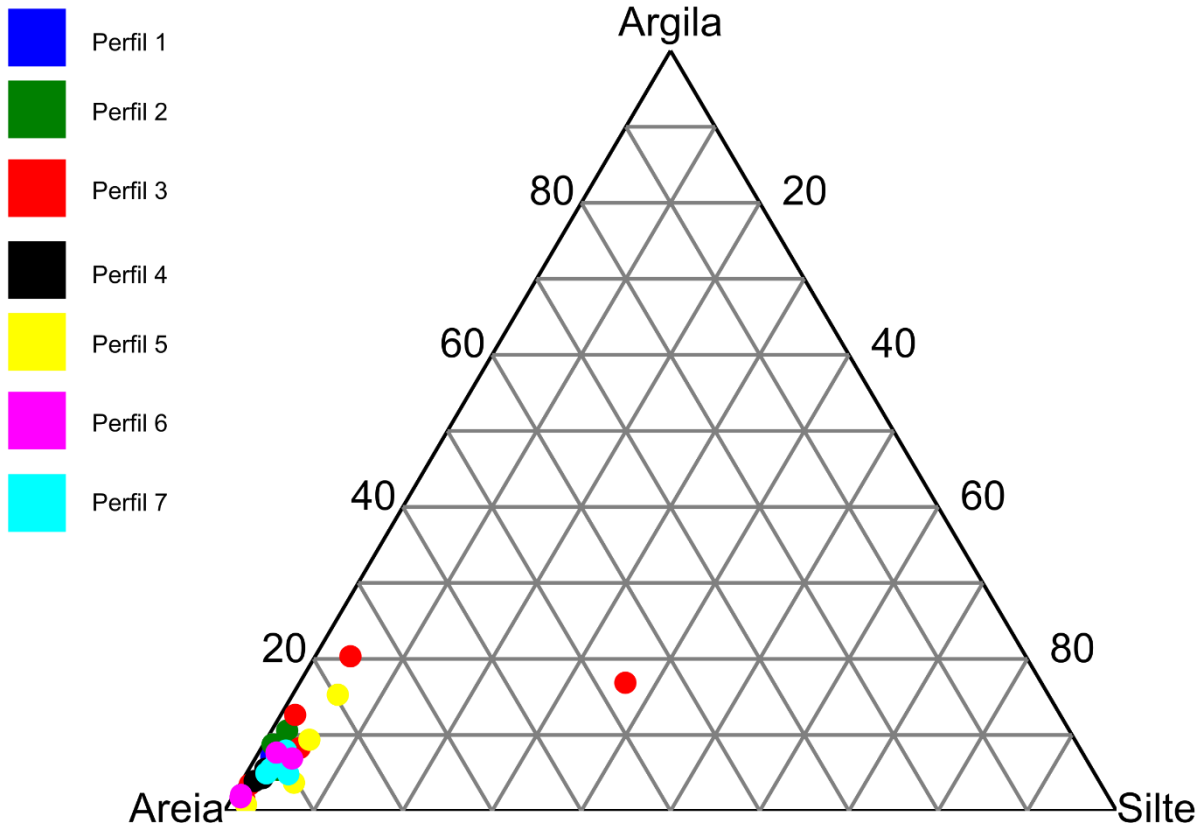
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.4.4. Análise lateral do transecto T3w

A classificação textural de sedimentos de Flemming (2000) foi aplicada com adaptações também neste transecto, a partir dos valores de granulometria. Como característica predominante, os resultados mostram uma concentração de quase todas as amostras próximas da granulometria areia, o que indica uma grande energia de transporte da água que, quando cessa, leva à deposição desses sedimentos mais grossos. A única camada que se diferencia em termos de energia de deposição é a camada superficial do P3, que apresenta maior concentração de silte (Figura 142). Este transecto está localizado na subunidade P2, denominada neste trabalho como de Médio Pantanal, onde foram descritos e amostrados perfis deste a sua porção mais alta até a planície de inundação. O perfil P3, que está localizado no canal de uma vereda, que estava quando amostrada, foi o único que apresentou uma variabilidade um pouco maior nas características do ambiente de sedimentação.

Diferentemente dos demais transectos, este não apresenta grande variação tanto de tipo, como do diâmetro do material de sedimentação, que permitisse identificação de ambientes diferenciados de deposição.

Figura 142 - Classificação textural do transecto T3w, indicando o tipo de ambiente de deposição.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A comparação dos valores médios, mínimos e máximos de cada perfil ao longo do transecto T3w (Figura 143) aponta que a areia grossa, apresenta uma grande variabilidade ao longo do transecto. Os valores aumentam do P1 até P3, onde ocorrem as maiores diferenças entre os valores máximos (quase 80%) e os mínimos e médios da composição das geocoberturas, excluindo-se o valor mínimo do P4. A partir daí, os valores do transecto se reduzem até atingir os mínimos, no perfil P6, quando atingem uma média de 20%, para aumentarem, para uma média acima de 60% do teor de areia grossa, no P7.

Ao correlacionar estes dados com a forma da vertente, pode-se inferir que este material está sendo transportado do alto da vertente até o fundo do canal da vereda, no P3, que já está em altitude próxima da planície de inundação. No interior da planície de inundação, há uma redução dos valores de areia grossa até atingir uma das áreas mais rebaixadas e protegidas por vegetação herbácea mais densa, no P6. No P7, que é ocupado por outro canal de drenagem, há aumento do valor do teor da areia grossa, o que pode indicar aporte de material de outro segmento mais elevado das vertentes drenadas.

A granulometria areia fina, apresenta um valor muito estável, com pouca diferença entre os valores máximo, médio e mínimo ao longo do transecto T3w (Figura 143), embora os valores

tendam a diminuir de P1 até o P3, onde atingem valor o mínimo, que é inversamente proporcional ao teor de areia grossa, cujos valores aumentam do P3 até o P6, atingindo mais de 60% do teor da fração sólida das geocoberturas. A partir daí, os valores voltam a reduzir no P7, para uma média abaixo de 40%, enquanto nos perfis P4 e P5, há uma relativa estabilidade nos valores da areia grossa e fina.

O silte apresenta valores muito homogêneos, normalmente baixos em todo o transecto, com exceção do P3 onde o valor máximo atinge mais de 30% do teor das geocoberturas. Certamente, este teor mais elevado está relacionado à ocorrência de menor energia no ambiente hídrico, possibilitando a deposição de materiais mais finos. Nos demais perfis, o valor é inferior a 10% da composição.

Os valores de argila apresentam grandes variações do longo do transecto, mantendo uma baixa percentagem na composição das geocoberturas com valor máximo de 20% no P3 e de 15% no P5. Nos demais perfis, todos os valores ficam abaixo de 10%. Os valores mínimos (de 5%) apresentam uma dinâmica interessante, pois, nos perfis em que há os maiores teores de argila (perfis 3 e 5), também registram os menores valores em algum dos horizontes destes mesmos perfis (3 e 5, figura 143).

Em média, os valores do teor de argila aumentam de P1 até P3 e a partir daí, tendem a se reduzir, em um patamar um pouco abaixo de P1 no P7, com exceção do P5, em que há um pequeno aumento do teor de argila (Figura 143). No P3, este maior teor é responsável por modificar o comportamento do gráfico ternário que indica a única variação de energia de deposição deste transecto, que ocorreu no canal da vereda, que ocorre superficialmente neste perfil.

Os valores de pH deste transecto T3w (Figura 143) apresentam uma variação maior neste transecto, sendo o pH (H_2O) variando entre 4 até 8. O valor mínimo ocorre no P2, e o valor máximo ocorre no P3, reduzindo deste até P5, e se mantendo relativamente estável nos demais perfis em cerca de 6. Já o pH em KCl apresenta comportamento um pouco diferenciado, registrando uma tendência de aumento em todo o transecto, desde 4, nos primeiros perfis, atingindo valor máximo em 6 no P3 e nos demais perfis pouco abaixo de 6, com leve tendência de aumento até P7.

Os valores de CE do transecto T3w, figura 143, apresentam comportamento muito similar ao CO e à MO, registrando baixos valores em relação aos perfis anteriores, com exceção do P7, e registrando valor máximo acima de 2.000 µS de CE e um segundo maior valor no P3, mas inferior a 500 µS. O CO e a MO possuem o mesmo comportamento, com o primeiro

chegando no P7 ao valor máximo de quase 500 g/kg, e um pequeno pico no P3, mas muito inferior a 100 g/kg.

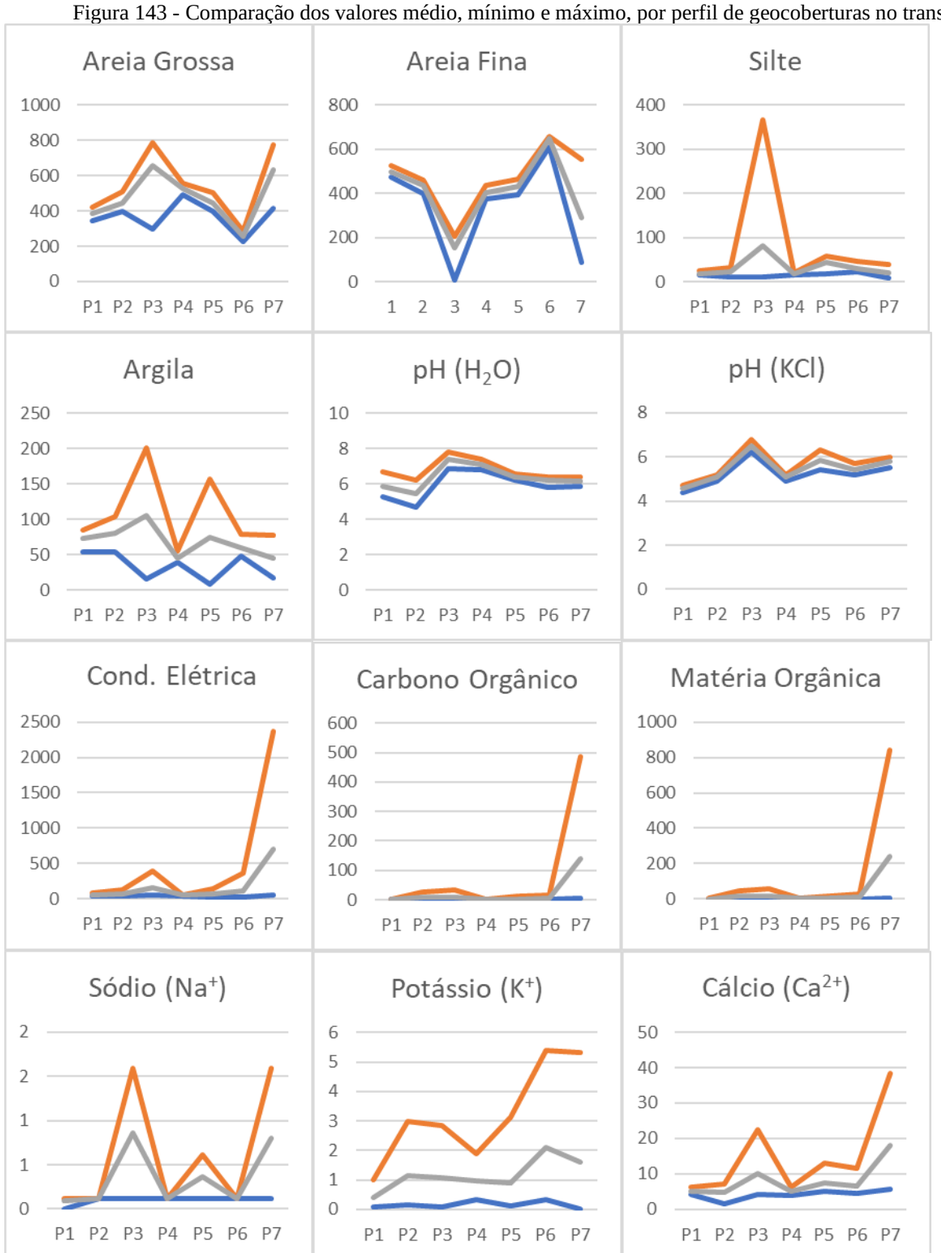
Os valores de cátions trocáveis ao longo do transecto T3w (Figura 143) apresentam diferentes comportamentos de distribuição. O sódio apresenta os mais altos valores no P3, P7 e, em terceiro lugar, no P5, enquanto nos demais perfis, os valores são mínimos. Já o K apresenta tendência de aumento ao longo do transecto, chegando ao máximo no P7, atingindo o maior valor no P2 e com leve queda no P4. Os valores de Ca também apresentam seus picos no P7, segundo maior valor no P3 e, nos demais perfis, valores mais estáveis.

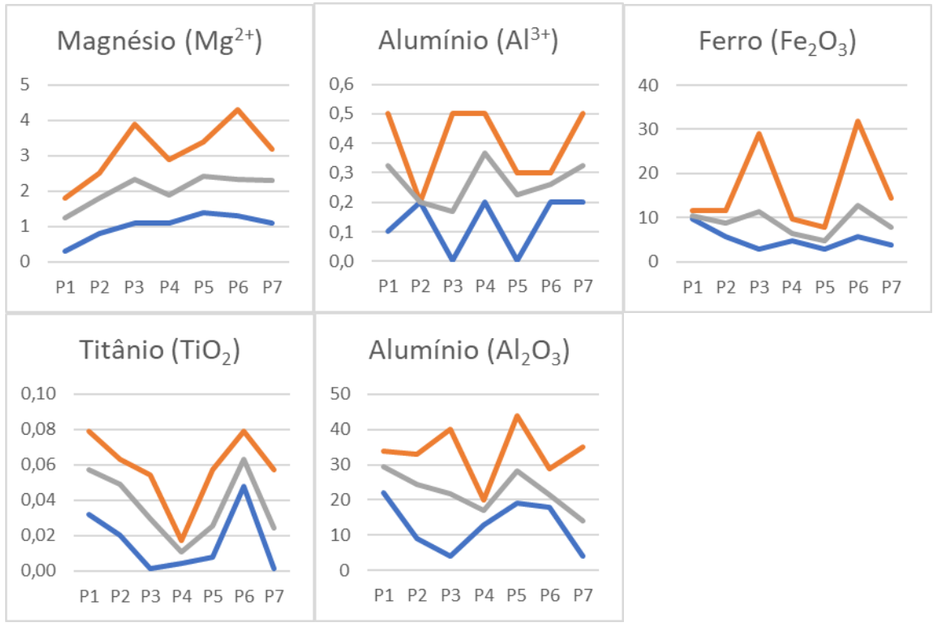
O Mg ao longo do transecto T3w (Figura 143) também mostra comportamento semelhante ao do Ca, sendo máximo noP7 e em segundo lugar no P3, mas com tendência geral de aumento ao longo do transecto. Os cátions de Al apresentam-se muito variáveis, com valores máximos nos perfis P1, P3, P4 e P7. Os valores mínimos estão nos perfis P3 e P5. Contudo, na média, há uma tendência de estabilidade do valor, contudo, o maior valor médio está no P4, mas próximo dos perfis P1 e P7.

Há uma maior quantidade de Fe nos perfis P3 e P7 e estabilidade nos demais perfis deste transecto T3w. Já o Ti apresenta tendência de redução do P1 até o P4 e depois volta a aumentar até o P6, voltando a reduzir no P7 (Figura 143). Os valores máximos no P1 e P6 são similares, enquanto os menores valores médios e mínimos também são semelhantes. O óxido de Al apresenta tendência geral de queda dos valores, até o P5, quando atinge o maior valor, voltando a reduzir novamente.

Estes comportamentos não indicam uma tendência clara de diferenciação de grandes zonas no transecto T3w, mas permitem observar que os perfis P3 e P7 (Figura 143), que são alguns dos topograficamente mais baixos e localizados em canais de drenagem que não estão mais ativos, parecem ter características semelhantes, associadas a ambientes úmidos. Nos demais transectos, mais drenados o comportamento, tem maior variabilidade.

Figura 143 - Comparação dos valores médio, mínimo e máximo, por perfil de geocoberturas no transecto T3w.





Legenda:
P1: Perfil 1
P2: Perfil 2
P3: Perfil 3
P4: Perfil 4
P5: Perfil 5
P6: Perfil 6
P7: Perfil 7
Unidades de medida
Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila: g/cm^{-3}
Condutividade elétrica: µS
Carbono orgânico e matéria orgânica: g/kg
Cátions trocáveis: Sódio (Na^{+}), Potássio (K^{+}), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}): $cmolc/dm^{-3}$
Óxidos: Ferro (Fe_2O_3), Titânio (TiO_2) e Alumínio (Al_2O_3): g/kg^{-1}
Valor mínimo:
Valor médio:
Valor máximo:

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

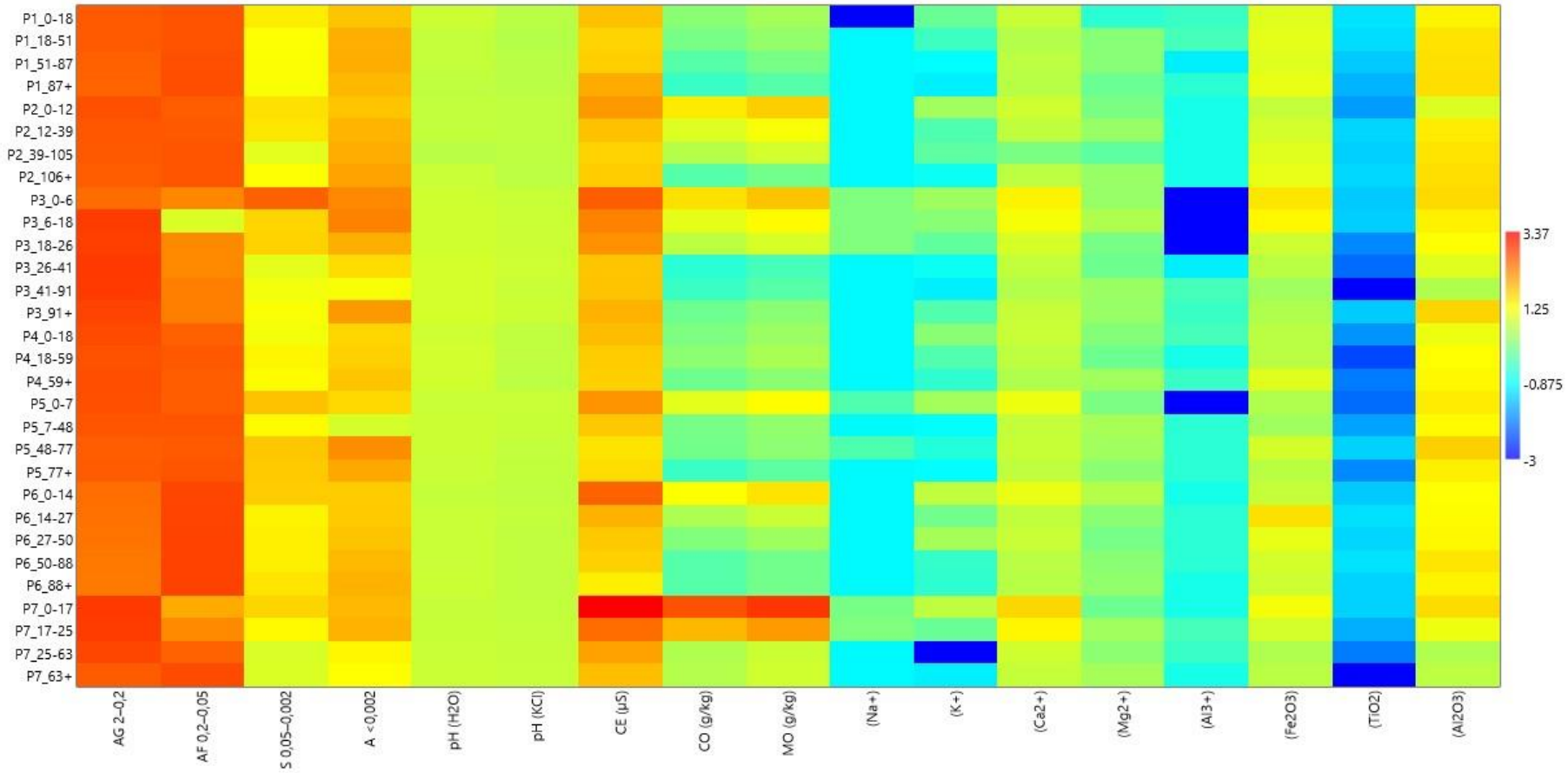
A figura 144 apresenta o *matrix plot* para o transecto T3w, permitindo a análise visual da distribuição dos dados ao longo do transecto, o que pode contribuir com a identificação e caracterização de possíveis ambientes de variação lateral na subunidade P2 do Médio Pantanal. Ele é caracterizado pela predominância de textura arenosa em todos os perfis, com exceção da camada superficial do P3. A CE é maior nos perfis P3 e P7, que assim como a MO e CO, apresentam distribuição similar, incluindo neste, valores intermediários nos perfis P2 e P6 e na camada superficial de P5. Os valores de Na são muito baixos na superfície de P1 e baixos para K em profundidade do P7. Os valores de Ca são elevados nos perfis P3 e P7. Os valores de óxidos não apresentam uma distribuição significativa diferente ao longo do transecto.

Assim, para os dados de granulometria, não há grande variação de atributos por perfil, desde a areia grossa, areia fina, silte e argila. Os valores de pH, como nos demais perfis, não apresentam variação significativa também. Os valores de CE, apresentam leves aumentos nos perfis P3 e P7, mas nos demais, os valores também não apresentam diferenças muito significativas. Há uma baixa quantidade de CO e MO, com exceção dos horizontes superficiais dos perfis P2, P3 e P7, principalmente este último, que registra as maiores quantidades.

Também há uma tendência generalizada de poucos cátions trocáveis, com exceção do Ca, que possui uma quantidade levemente maior ao longo do transecto. Quanto aos óxidos, também não há grande discriminação entre os perfis para o Fe e Al, contudo, os óxidos de Al são muito escassos em todo o transecto, mas principalmente nos perfis P3 e P7.

Deste modo, neste transecto, não há grandes diferenças nas propriedades físicas e químicas de cada perfil, apresentando uma tendência a representar os ambientes drenados, com menor representação dos perfis P3 e P7, os quais, estão mais próximos quanto a seus atributos, dos perfis do transecto T2w, este, localizado inteiramente na planície de inundação do Médio Pantanal.

Figura 144 - Comparação dos valores normalizados para as análises realizadas no transecto T3w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.4.5. Análise da subsuperfície da subunidade P2 – Médio Pantanal com GPR

Foi realizado inicialmente um levantamento em todo o transecto T1 de GPR com antena de 100 MHz, representativo da subunidade P2 do PRP que tem um comprimento de aproximadamente 3,1 km. Este foi dividido em 2 grandes segmentos, um norte-sul e outro leste-oeste, partindo das áreas drenadas em direção a planície de inundação e após em direção ao canal atual do rio Pandeiros. Um segundo levantamento foi realizado, saindo do trajeto inicial em direção a lagoa Feia, desta vez utilizando a antena de 100 MHz e a antena de 50 Mhz. Em maio de 2019 foi realizado um terceiro levantamento, desta vez apenas em um segmento próximo da lagoa Feia, com uso da antena de 100 MHz, mas utilizando uma configuração de caminhamento que permitisse uma futura representação dos dados em 3 dimensões.

Devido a quantidade de dados e informações geradas nos radargramas, apenas os resultados do terceiro levantamento são apresentados aqui. A escolha da área se deu em razão da ocorrência de poucas árvores espaçadas, vegetação rasteira e ausência de arame farpado e de redes elétricas de alta tensão. O radargrama está representado na Figura 145, no qual juntamente, foi plotada a representação do perfil amostrado em profundidade no meio da área de aquisição dos dados, que chegou a profundidade de 323 cm, devido ao afloramento do nível freático, o que impediu a continuidade da coleta de amostras.

A análise da subsuperfície é feita a partir da Figura 145. Os perfis dos radargramas foram nomeados de Lagoa 1 a 6. As imagens Lagoa 1, 6 e 3 estão posicionadas na direção sudeste até noroeste. Os radargramas Lagoa 2, 5 e 4 estão dispostos na direção nordeste – sudoeste. O croqui de localização e o mapa com a localização dos pontos e do local da tradagem estão na parte inferior da Figura 145.

O local da tradagem está identificado como TR2 e a especificação do mesmo, com um detalhe do perfil, também está mostrado no inferior da Figura 145, no lado direito. Nele, estão localizadas as principais feições identificadas. Nos radargramas Lagoa 5 e Lagoa 6 também estão apresentadas a localização onde o furo foi realizado.

Nos radargramas foram identificadas 5 feições, identificadas em cada radargrama como F1 a F5. Estas feições podem representar diferentes materiais, com diâmetros ou até mesmo com deposição diferenciada entre as camadas, em se tratando do mesmo material. Todos estes fatores podem se comportar como diferentes refletores nas imagens dos radargramas.

A Feição 1 (F1), que se apresenta até uma profundidade média de 2 m, trata-se da onda direta, que viaja pelo solo sem sofrer reflexão na subsuperfície.

A análise das feições morfológicas obtidas pelos dados de GPR indicam uma predominância de horizontes de deposição de material, com textura predominantemente arenosa, conforme dados dos furos realizados. A Feição 2 (F2), está localizada entre 2 m e 3 m de profundidade em média. Nela, ocorreu o afloramento do nível freático a 207 cm, representado pela linha azul nos radargramas.

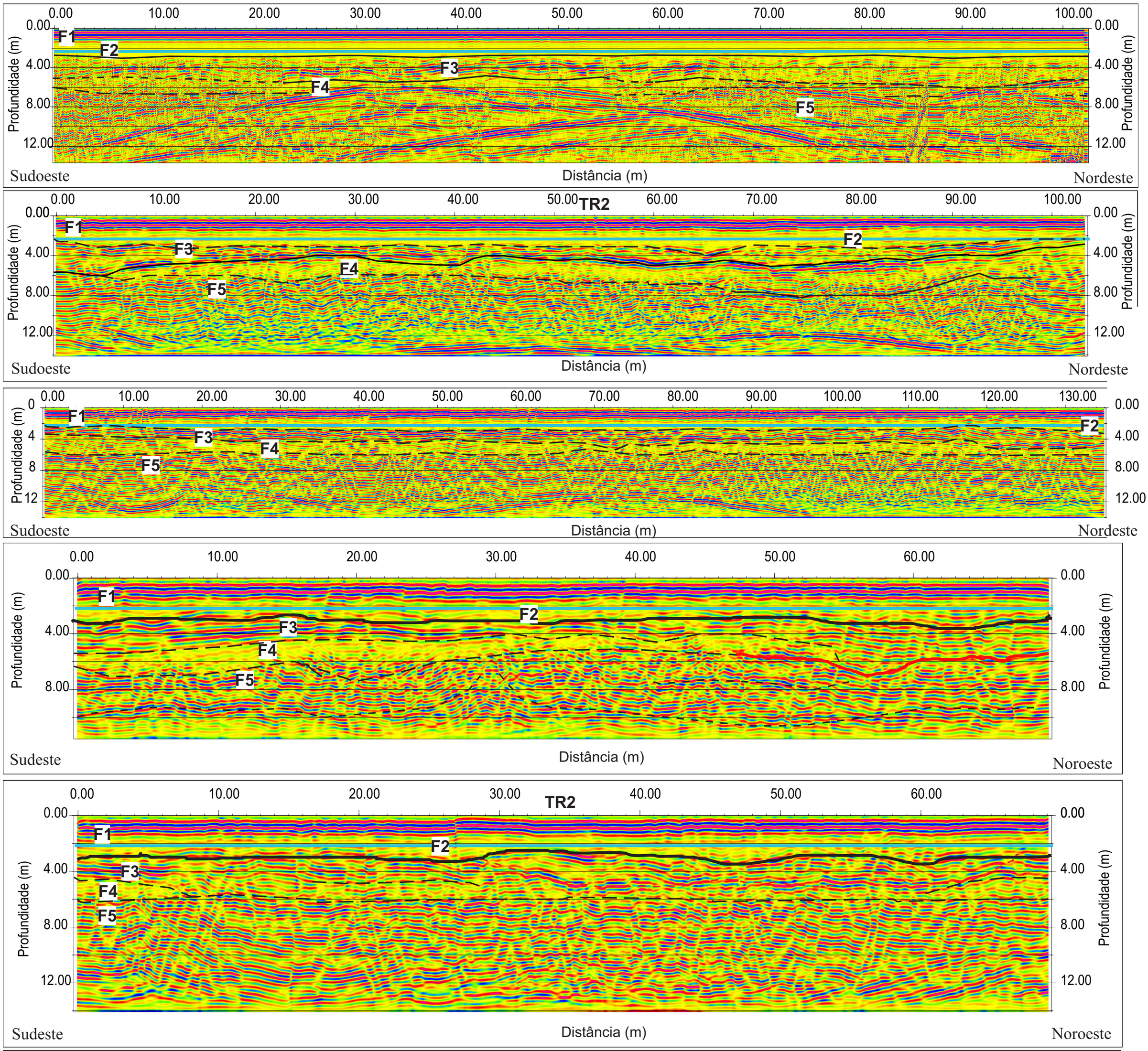
Nesta feição F2 há uma matriz arenosa, bastante contínua e horizontalizada, com diferentes graus de umidade e seu limite inferior está marcado pela presença de seixos, que se iniciam em 223 cm, aumentando seu diâmetro conforme sua profundidade, configurando a Feição 3 (F3). Esta F3 também possui uma fina espessura e conforme levantamento feito por tradagem, é formada por uma matriz arenosa, abaixo do nível freático, com a presença de seixos de laterita e outros materiais angulosos, com até 5 cm de comprimento que aumentam em profundidade, indicando um ambiente deposicional de alta energia, quando se compara com os grãos depositados sobre esta camada.

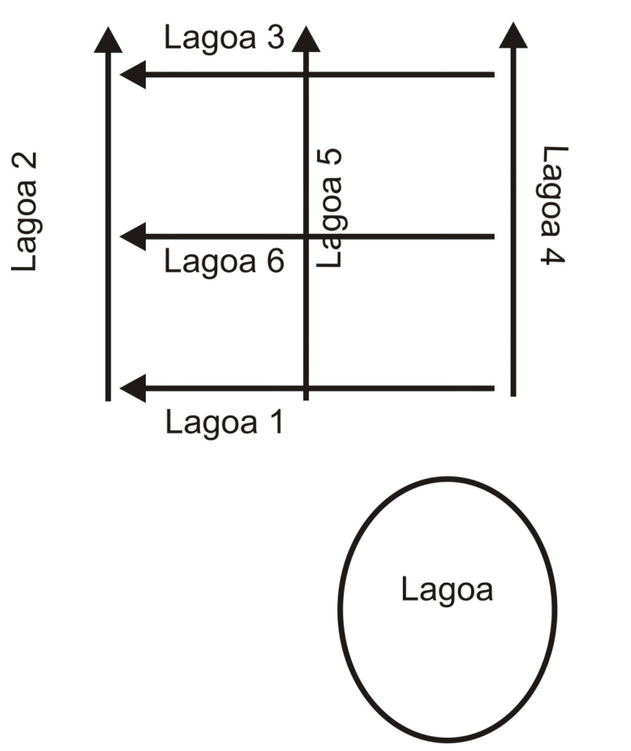
Como a tradagem ficou limitada à profundidade de 323 cm, a delimitação, identificação e caracterização das Feições 4 e 5 da Figura 145, só foram possíveis devido às imagens do radargrama. A Feição 4 (F4), localizada sob a F3, está localizada a uma profundidade de aproximadamente 5 a 6 metros, e pode ser separada das demais pela alteração da textura e continuidade das linhas do radargrama abaixo de F3.

Ela não possui uma continuidade permanente como F2 e F3, ficando muito delgada no radargrama Lagoa 2, truncada entre 40 m e 50 m em Lagoa 3, ocorrendo em intervalos de 0 - 10 m, 15 m – 30 m e a partir de 60 metros no radargrama Lagoa 6 e também entre 10 m a 30 m e 40 m a 50 m em Lagoa 1. A Feição 5 parece constituir-se como a base deste local, tendo uma “assinatura específica” a partir de 6 m de profundidade, isto é: ela apresenta uma mudança no padrão das reflexões, bem distintos das feições acima.

Há uma feição peculiar dentre os radargramas, que apesar de sua estrutura horizontalizada, apresenta a forma das margens de um paleocanal de drenagem, que pode ser bem delimitada no radargrama Lagoa 6, entre 40 m e 60 metros, destacando suas margens e fundo na cor vermelha, conforme esta forma foi interpretada. Em Lagoa 1, ela está registrada a partir de 50 m, como também em Lagoa 3. A profundidade do fundo deste canal é de cerca de 6 m. Nestes locais, parece haver um rebaixamento das feições F3 e F4, que parecem estar abaixo da estrutura do canal.

Figura 145 - Radargrama da subunidade P2: o Médio Pantanal do rio Pandeiros





Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Radargrama do perfil Tr2 - Subunidade P2 - Médio PRP - Fazenda AGROPOP.

5.3.5 Caracterização das geocoberturas da subunidade P3 do PRP: o Baixo Pantanal

5.3.5.1. Análise das geocoberturas superficiais

No transecto T4w, existe uma predominância de perfis com muita areia fina, com média para todos os perfis de 650,50 g/cm^{-3}, seguida da areia grossa em todos os perfis. A composição deles neste transecto também é muito homogênea, e apenas no perfil P3 do transecto T4w há maior variação na composição em profundidade estando localizados na porção mais baixa da planície de inundação onde ainda há predominância de depósitos de areia fina.

O transecto T4w é representativo da subunidade P3 do PRP e seu perfil topográfico e fitofisionômico está representado na Figura 146. A sua localização está representada na figura 147 com a imagem de satélite da área. Ele é composto de duas grandes zonas, um terraço drenado, que avança sobre a área do PRP, que termina no canal de drenagem do rio Pandeiros existindo na outra margem a planície de inundação, no sentido leste - oeste. A variação altimétrica é muito pequena, de pouco menos de 10 metros ao longo de aproximadamente 1.150 m de transecto variando entre 460 m e 455 m de altitude. Neste transecto foram analisados 4 perfis, 2 na área de terraço e 2 na planície de inundação.

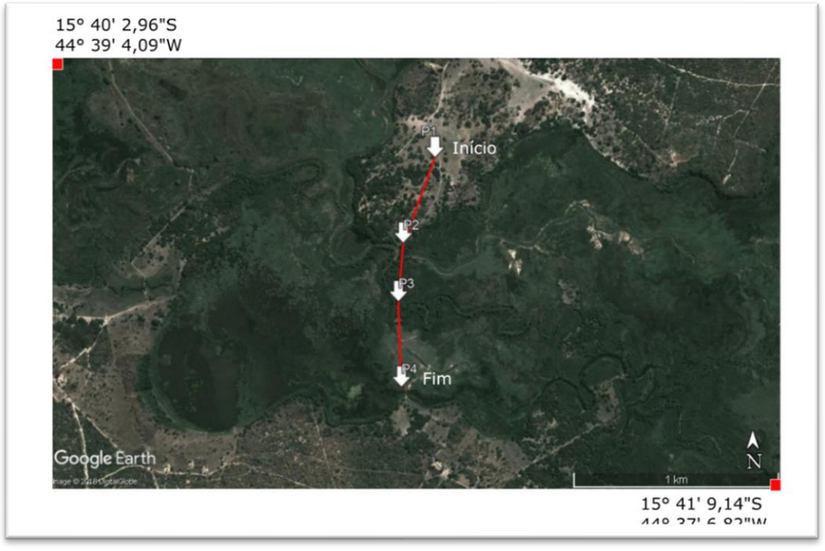
A vegetação na área do terraço é composta por aglomerados de arbustos e pequenas árvores, separadas por uma cobertura de gramíneas e herbáceas, que de acordo com a estação úmida ou seca, possuem diferentes alturas no perfil P1. O perfil P2, está localizado próximo ao canal atual do rio Pandeiros, onde a cobertura vegetal é semelhante à do perfil P1, contudo existem mais árvores de porte médio a alto, variando entre 3 m a 6 m de altura.

O perfil P3 está localizado na planície de inundação, em um terraço rebaixado, ao lado de um antigo meandro do rio Pandeiros, onde este corria há cerca de 30 anos, segundo informações de moradores locais e por observação de imagens de satélite, e a cobertura vegetal é composta por árvores, arbustos e cipós em uma floresta mais densa. O perfil P4 está localizado próximo a extremidade da margem direita do PRP, em uma área aberta, com poucos arbustos e algumas gramíneas, e é inundável durante os períodos de cheia, enquanto durante a estiagem é utilizado como pastagem. Ele fica próximo à Lagoa Verde, que representa um recuo a oeste da planície de inundação. A figura 148 reúne algumas fotografias desta área.

Figura 146 - Perfil topográfico e fitofisionômico do transecto T4w com os perfis de geocoberturas amostrados.

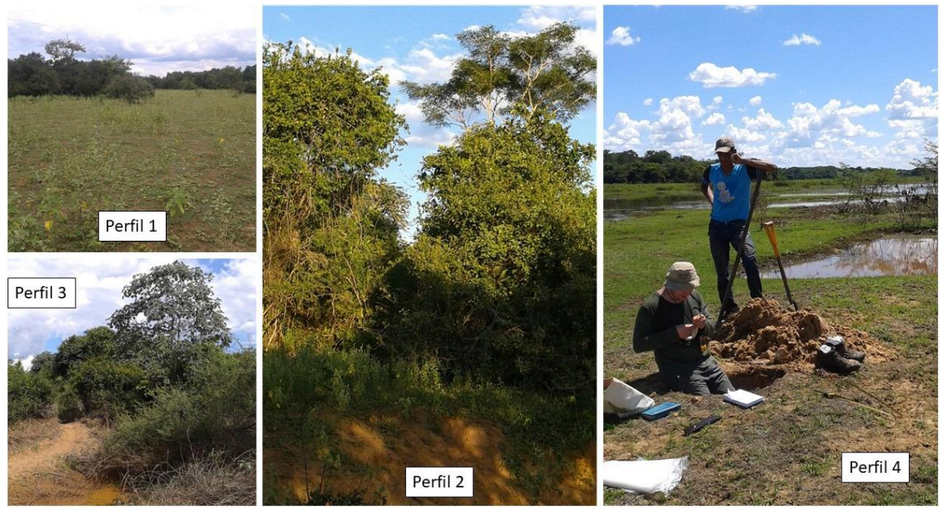
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 147 - Localização do transecto T4w, representativo da subunidade P3 do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

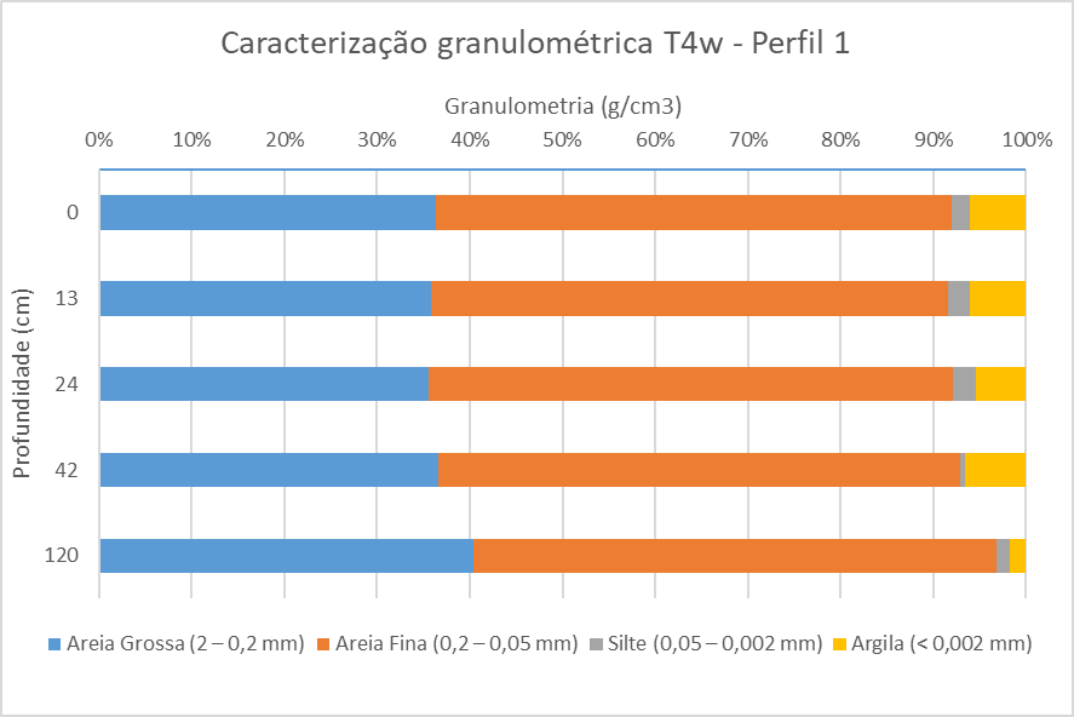
Figura 148 - Fotografias representativas da vegetação e a paisagem dos locais de amostra do transecto T4w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 149 apresenta os resultados da análise granulométrica do perfil P1 deste transecto. O terraço onde ele está localizado apresenta um comportamento extremamente homogêneo em termos de composição, sendo muito arenoso, com valor médio de 455,84 g/cm^{-3}, com predominância de areia fina, tendo valor médio de 549,38 g/cm^{-3}, contendo pouco silte e argila ao longo dos 120 cm de profundidade com valores médios de 17,42 g/cm^{-3} e 51,24 g/cm^{-3}, respectivamente.

Figura 149 - Caracterização granulométrica do Perfil 1 - transecto T4w.



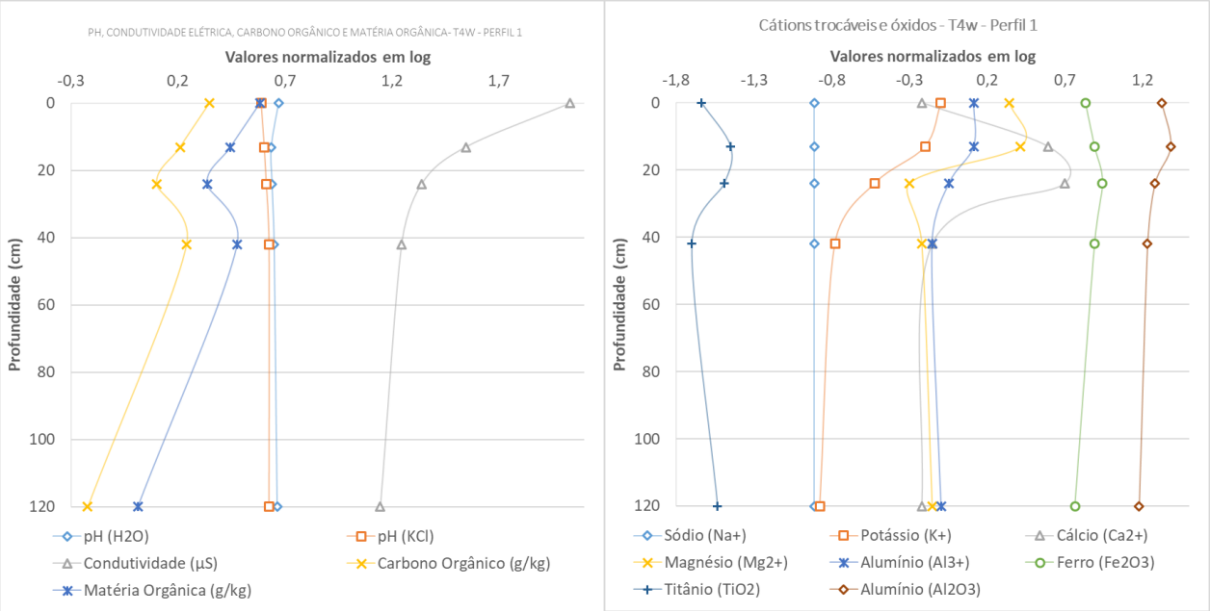
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 150, são apresentados os resultados das análises químicas do mesmo perfil que também apresenta características homogêneas em todas as camadas em termos de pH, que é estável em profundidade, tendo um valor médio de 4,5 em H_2O. A CE, apresenta valor médio de 39,26 µS, e MO, com valor médio de 2,56 g/kg que reduz em profundidade. Os elementos apresentam tendência à estabilidade, com exceção ao Ca, cujo valor médio é de 2,16 cmolc/dm^{-3}, registrando em superfície baixos valores, sofrendo aumento em 20 cm para serem reduzidos em maior profundidade, enquanto Mg e K, cujo valor médio é de 1,32 cmolc/dm^{-3} e 0,41 cmolc/dm^{-3}, respectivamente, sofrem redução desde a superfície.

O óxido de Ti, com valor médio de 0,03 g/kg^{-1} e o cátion Na 0,12 cmolc/dm^{-3} representam os menores teores, sendo que os maiores são comuns aos demais perfis, com exceção ao teor dos cátions Ca, Mg e Al, cujos valores médios são 2,16 cmolc/dm^{-3}, 1,32

cmolc/dm^{-3} e 19,18 g/kg^{-1}, respectivamente, apresentando valor mais elevado, principalmente o Al^{3+}, que possui média de 1 cmolc/dm^{-3} para todo o perfil, representando o valor mais elevado para este atributo do que nos demais transectos analisados.

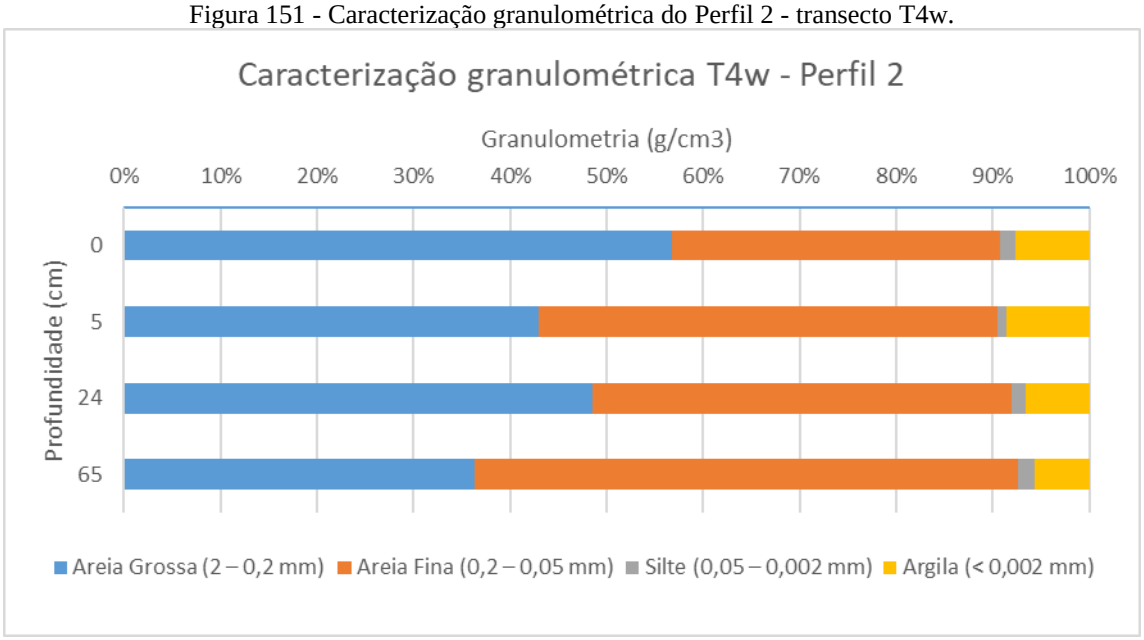
Figura 150 - Caracterização química do Perfil 1 - transecto T4w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P2 deste transecto, também localizado no mesmo terraço, mais próximo ao canal atual do rio também apresenta comportamento semelhante ao perfil P1, conforme se observa na figura 151. Contudo, a areia grossa, cujo valor médio para o perfil é de 454,20 g/cm^{-3}, está mais presente até 65 cm de profundidade do que a areia fina, cujo valor médio para o perfil é de 446,28 g/cm^{-3}. O perfil continua predominantemente arenoso, com pouco silte e argila, tendo valores médios de 14,10 g/cm^{-3} e 70,08 g/cm^{-3}, respectivamente, e sem grandes variações em profundidade.

Figura 151 - Caracterização granulométrica do Perfil 2 - transecto T4w.

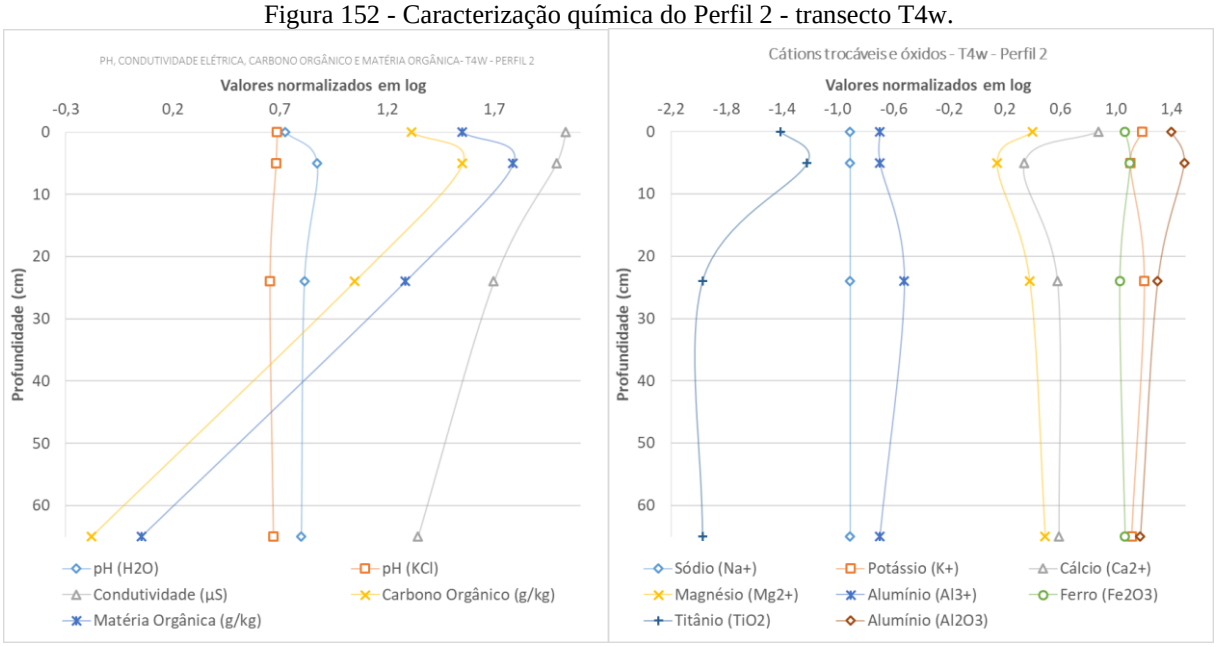


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 152, estão os resultados das análises químicas realizadas no perfil P2 do transecto T4w. Neste perfil, os valores de MO, cuja média para o perfil é de 29,25 g/kg, da camada superficial são mais reduzidos em relação a camada de 5 cm a 24 cm, o que pode representar o produto de erosão superficial recente. A partir de 5 cm o perfil apresenta valores superiores para o pH, que possui valor médio de 6,40 em H_2O, em relação ao perfil P1 deste transecto, o que talvez possa ser em decorrência da lixiviação de materiais solúveis em direção ao rio e a planície de inundação. Os valores de CE, cuja média é de 69,18 µS, tendem a decrescer em profundidade e a MO também, apesar desta última apresentar uma camada superficial com menos CO, se comparado com a camada de até 10 cm, passando a ocorrer a partir daí uma forte redução da MO no perfil, que atinge o valor mínimo de 1,10 g/kg.

O comportamento dos elementos do perfil é estável em profundidade, mantendo as características comuns aos demais perfis: óxidos de Fe e Al com maior teor, sendo a média para o perfil de 11,62 g/kg^{-1} e 22,73 g/kg^{-1}, respectivamente, e óxido de Ti e cátion Na com menores teores, com média para o perfil de 0,03 g/kg^{-1} e 0,12 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente. A grande alteração aqui é que o Mg se apresenta com maior teor em relação aos demais perfis, tendo uma média de 2,35 $cmolc/dm^{-3}$.

Figura 152 - Caracterização química do Perfil 2 - transecto T4w.



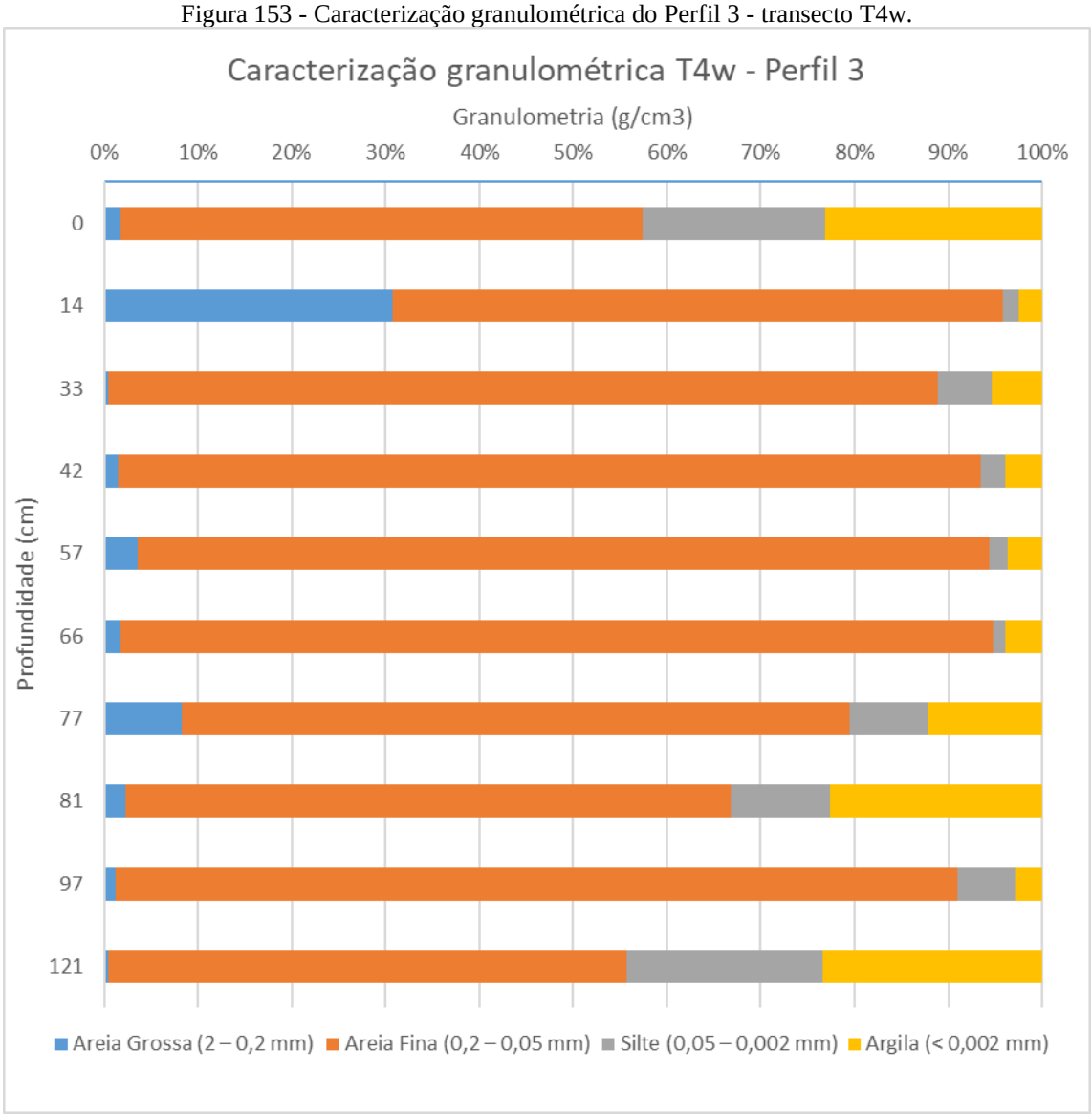
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P3 deste transecto é um dos mais representativos do PRP, pois está localizado na planície de inundação e às margens de um antigo meandro do rio Pandeiros contendo várias camadas com diferentes características em uma profundidade relativamente pequena. As camadas se alternam em termos de textura, apesar de serem predominantemente arenosas, em composição entre a areia grossa, com valor médio de 51,02 g/cm^{-3}, fina, com média para o perfil de 752,53 g/cm^{-3} e maiores ou menores quantidades de argila, que possui média de 101,93 g/cm^{-3}, variando de 24,70 g/cm^{-3} até 239,30 g/cm^{-3} conforme se verifica na figura 153.

A predominância dos materiais ao longo do perfil é de areia fina, contudo, há uma maior quantidade de argila entre 0 e 14 cm, 77 cm a 97cm e em 121cm do perfil. Também, entre 14 cm e 33cm há um aumento de areia grossa, revelando uma alternância entre períodos em que esta margem do rio esteve sob maior e menor energia para deposição de materiais.

Atualmente, como canal do rio Pandeiros está ao lado do perfil e este antigo canal representa um meandro abandonado, o ambiente de deposição tem menos energia, sendo inundado durante a estação úmida e conseguindo, assim, depositar mais materiais finos do que na fase anterior. Esta situação, talvez tenha se repetido na camada entre 77 cm e 97 cm, onde há uma textura média nas geocoberturas e em 121 cm.

Figura 153 - Caracterização granulométrica do Perfil 3 - transecto T4w.

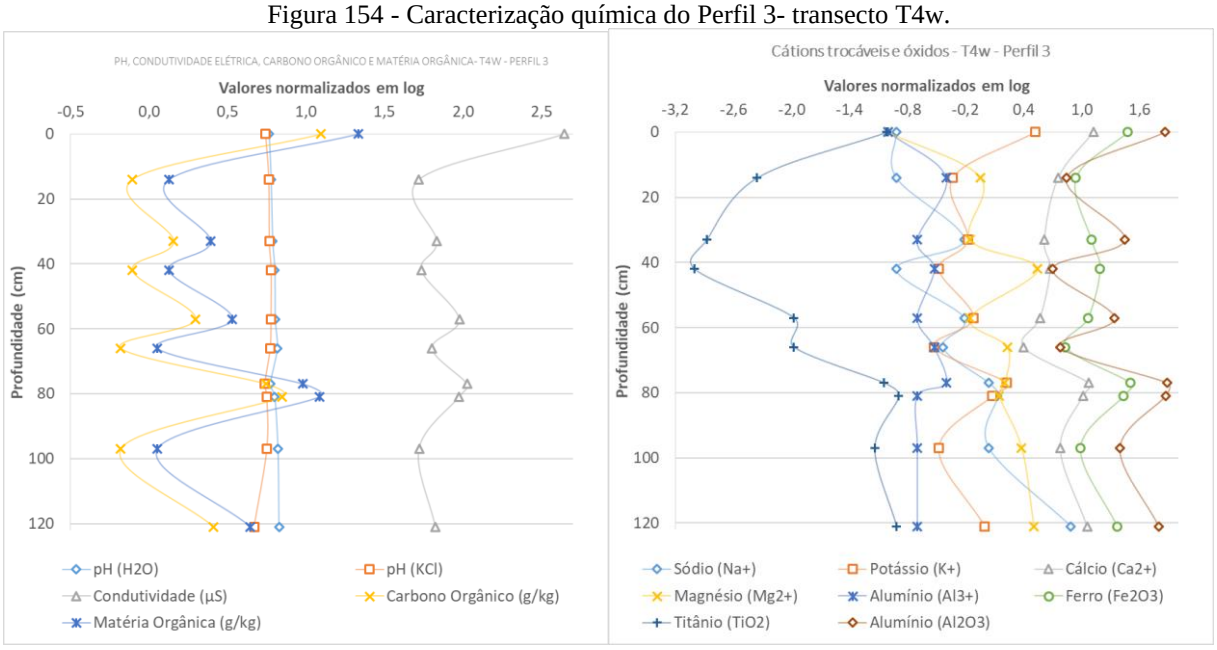


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 154, apresentam-se as análises químicas destas amostras do perfil P3, onde as variações granulométricas também parecem influenciar na quantidade de CO, cuja média do perfil é de 3,42 g/kg e CE, cujo valor médio é de 109,30 µS. Contudo, os valores de pH são praticamente constantes ao longo do perfil em análise, com valor médio de 6,27 em H_2O. O maior valor para CE está na camada superficial, até 14 cm, sendo de 440 µS, que tem textura média, o que corresponde também ao maior valor de MO no perfil, de 21,50 g/kg. Depois, entre 77 cm e 97 cm e em 121 cm os valores de MO aumentam, variando conforme a granulometria para a textura média, tendendo a registrar também valores de CE mais elevados em comparação a este perfil também.

A análise dos elementos apresenta um teor maior, comum aos demais perfis: óxidos de Fe e Al e Ca^{+} com valores médios de 17,71 g/kg^{-1}, 37,97 g/kg^{-1} e 7,34 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente, e menores teores para o óxido de Ti e o Al^{3+}, cujos valores médios são de 0,05 g/kg^{-1} e 0,25 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente. Contudo, os valores apresentam uma variabilidade grande, que também parece corresponder a variação granulométrica, com exceção aos óxidos de Ti. Os demais elementos, apesar de variarem em profundidade, permanecem mais ou menos estáveis em composição da geocobertura. O Na sofre um aumento ao longo do perfil em relação ao seu teor em superfície cujo valor médio é de 1,32 $cmolc/dm^{-3}$ e valor máximo é de 7,71 $cmolc/dm^{-3}$.

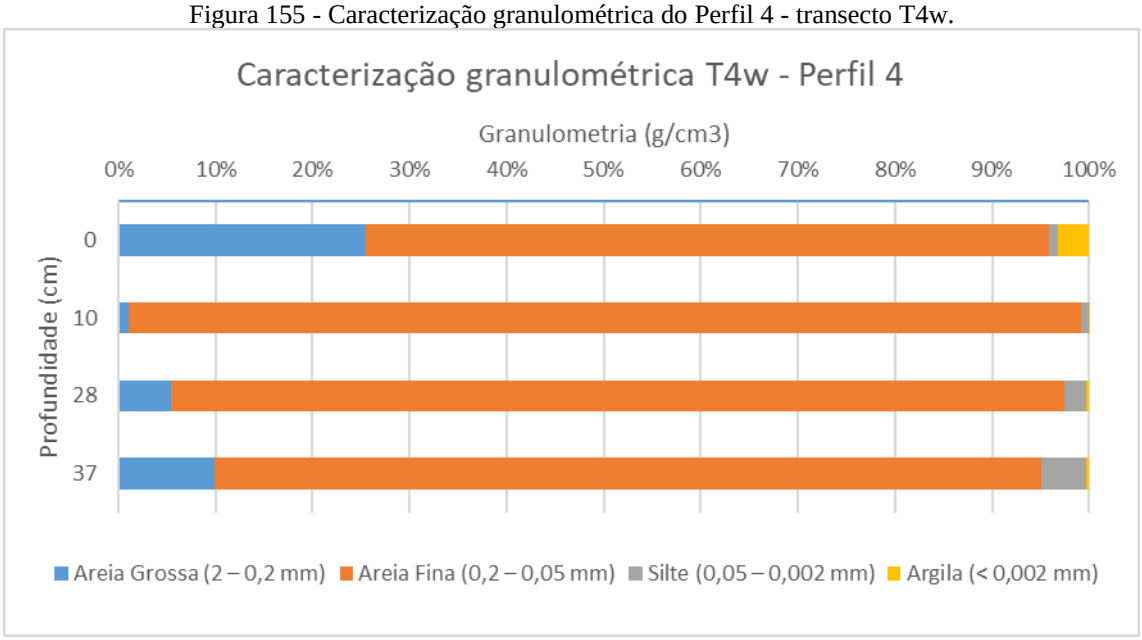
Figura 154 - Caracterização química do Perfil 3- transecto T4w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P4 do transecto T4w está localizado na margem direita do PRP, entre o meandro do rio Pandeiros e a Lagoa verde. Os resultados da análise granulométrica superficial estão apresentados na figura 155. A pequena profundidade se deu em razão do afloramento do nível freático em 37 cm. O perfil é predominantemente arenoso, com valor médio de 956,73 g/cm^{-3} com baixíssimos teores de silte e argila e predominância de areia fina, com valor médio de 853,83 g/cm^{-3}. Contudo, na camada superficial há um grande aumento na quantidade de areia grossa no local, o que poderia indicar um episódio de deposição de areia feito pelo canal do rio Pandeiros, quando da descarga de sedimentos na barragem da PCH do rio Pandeiros.

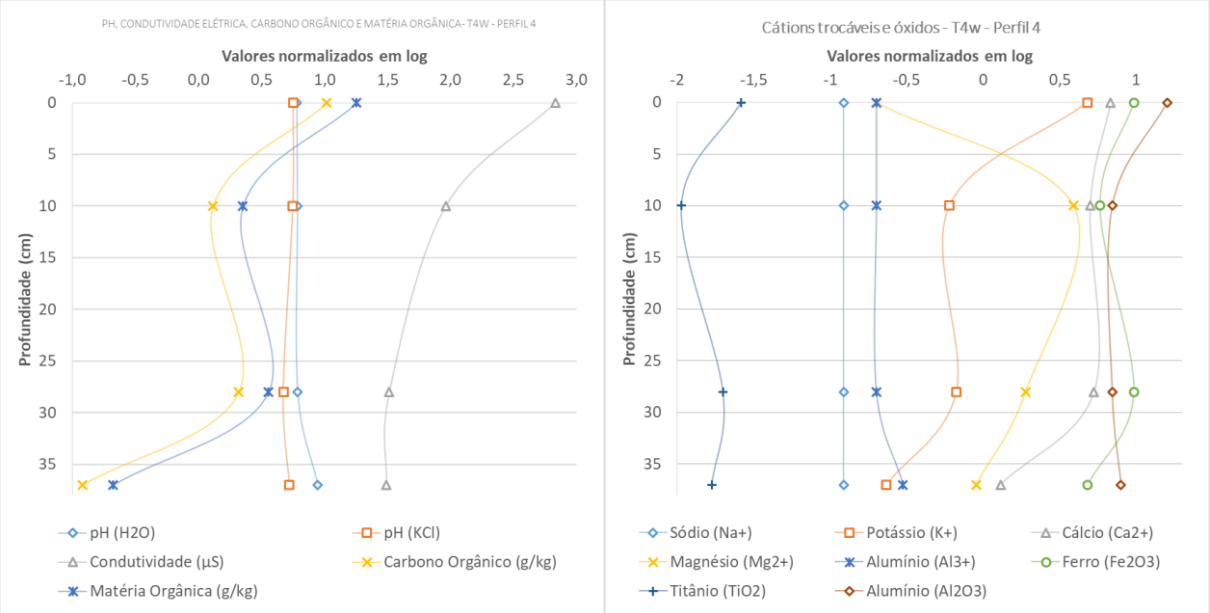
Figura 155 - Caracterização granulométrica do Perfil 4 - transecto T4w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 156, estão os resultados nas análises químicas do perfil 4. O comportamento do pH é bem homogêneo no perfil, tendo valor médio de 6,75 em H_2O, apesar de registrar um aumento na camada de 37 cm. A CE possui o maior valor em superfície, de 680 µS juntamente com a MO, cujo valor máximo é de 18 g/kg que tende a reduzir em profundidade, com exceção da camada entre 28 cm e 37 cm, quando ambos registram um aumento. O comportamento do teor dos elementos é constante ao longo do perfil e característico dos demais deste transecto. Apenas K e Mg tem alteração significativa pois reduzem em profundidade em relação à superfície, cujos valores médios são de 1,57 cmolc/dm^{-3} e 1,73 cmolc/dm^{-3}. Contudo, o Mg aumenta o seu teor em 10 cm e depois reduz seu valor. O valor de Na é praticamente constante ao longo do perfil, tendo valor médio de 0,12 cmolc/dm^{-3}.

Figura 156 - Caracterização química do Perfil 4 - transecto T4w.

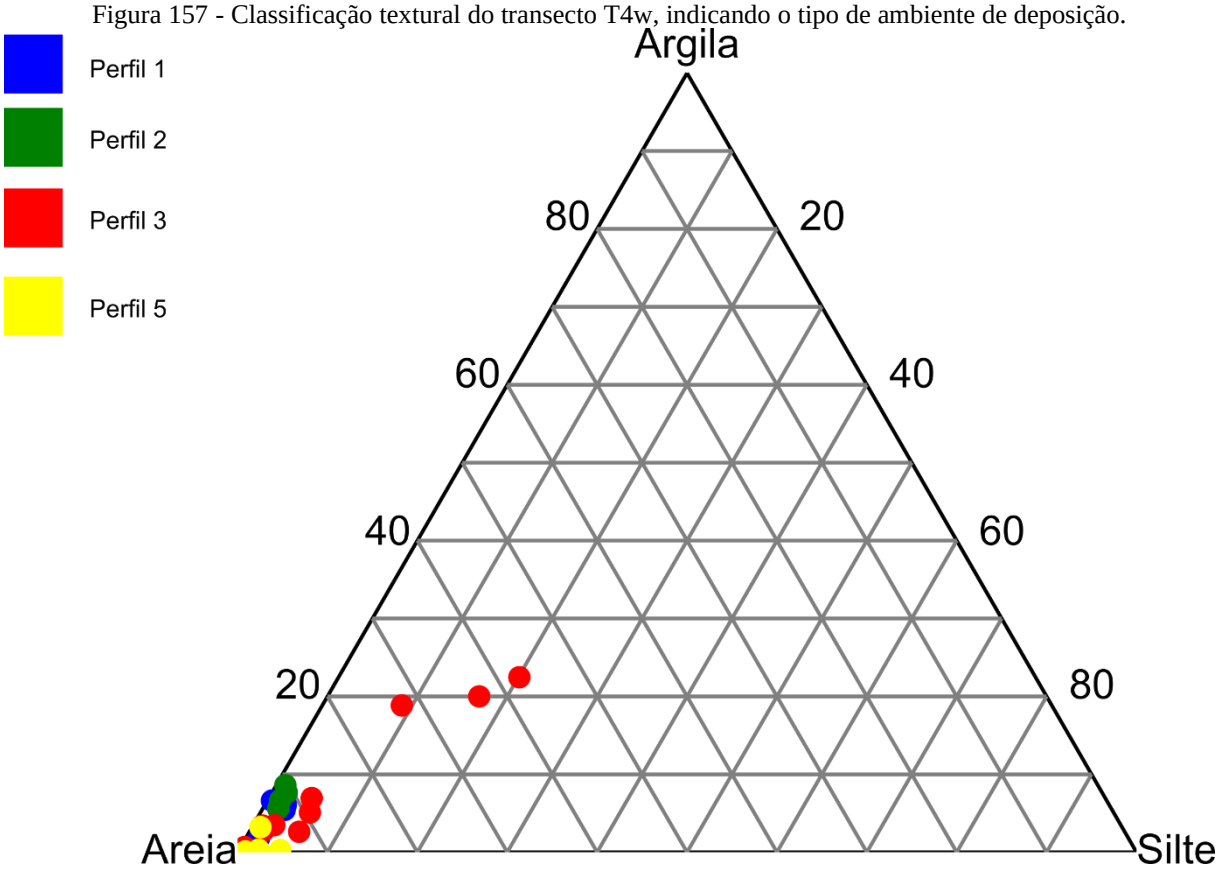


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.5.2. Análise lateral do transecto T4w

A classificação textural para as amostras do transecto T4w, baseados nos dados de granulometria, estão apresentados na figura 157. Assim como no transecto T3w os valores estão concentrados próximos ao componente areia, o que indica um ambiente com maior energia no momento da deposição. Com exceção de 3 amostras no perfil P3 que justamente são menos arenosas, estão localizadas na direção do centro do diagrama, indicando fases de menor energia na deposição dos ambientes, mas distantes do eixo argila-silte.

Figura 157 - Classificação textural do transecto T4w, indicando o tipo de ambiente de deposição.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A partir dos resultados expressos na figura 157, não é possível fazer uma distinção clara entre os perfis deste transecto, quanto ao seu comportamento lateral, desde o P1 até o P4. Contudo, os perfis P1 e P2, que estão localizados no terraço, que avança sobre a área da subunidade P3 do Baixo Pantanal, apresentam valores muito próximos.

Enquanto os perfis P3 e P4, apresentam distribuições diferentes, pois as amostras de P4 estão muitíssimo concentradas nos maiores valores, indicando forte energia em sua deposição, e considerando-se sua localização, longe do atual curso ativo do rio Pandeiros, este pode ter sido produto de alguma avulsão de canal, como mostrado na figura 97, reativando um antigo curso principal do rio Pandeiros, segundo indicam moradores locais.

O perfil P3, mesmo estando localizado nas margens abandonadas deste antigo curso, apresenta uma variação maior quanto a energia do ambiente de sedimentação, apresentando leve redução deste em alguns momentos no passado.

A comparação dos valores médios, mínimos e máximos dos perfis, para cada atributo analisado das geocoberturas está apresentado na figura 158. O teor de areia grossa apresenta grande variabilidade, sendo o maior dos perfis localizados no terraço (P1 e P2), sendo neste o máximo teor, acima de 50% de areia grossa. Nos perfis P3 e P4, há uma redução muito

significativa neste teor médio, que passa de mais de 30% para cerca de 10% nos perfis localizados na atual planície de inundação mais ativa, apesar de que, algumas áreas do terraço também ficam inundadas durante os pulsos de maior intensidade no PRP.

A areia fina, ao contrário, possui menor teor nos perfis do terraço, P1 e P2 e sofre aumento nos perfis P3 e P4, saindo de uma média pouco abaixo de 60% de areia fina para próximo de 80%, chegando, a valores máximos em alguns horizontes de P3 e P4 a quase 100% de areia fina compondo as geocoberturas (Figura 158). Como o PRP sofre um estreitamento nesta latitude, entre as subunidades P2, Médio Pantanal, e P3, Baixo Pantanal, pode ser esperado estes valores de areia, pois todo o transporte de material que passa pelo rio Pandeiros em direção ao rio São Francisco, necessita atravessar esta espécie de estreito fluvial.

Os teores de silte, muito pouco expressivos nos perfis P1 e P2, com teor abaixo de 5%, sofrem enorme aumento no P3, chegando a um máximo de 20% em um dos horizontes, mas mantendo o nível mínimo, e retornando para valores menores no P4, mas superior do que nos perfis P1 e P2 (Figura 158). Os valores de teor de argila seguem o mesmo comportamento do silte, com leve tendência de crescimento entre P1 e P2, valor máximo no P3, chegando a quase 25% de teor, e retornando para os valores mínimos no P4 (Figura 158). Um detalhe interessante é que o maior valor mínimo está no perfil P2, muito próximo às margens do atual curso do rio Pandeiros.

Os valores de pH em H_2O apresentam ligeira tendência de aumento, e neste transecto, apresentam valores médios bem mais baixos do que nos T1w, T2w e T3w, variando, em média, de 4 a pouco mais de 6, sendo o valor máximo no P4, pouco acima de 8 (Figura 158). Entre os perfis P2 a P4, os valores médios são muito próximos a 6. Em KCl, os valores ficam entre 4 e 6, sendo no P3 os maiores valores, mas apresentando diferenciação entre os perfis do terraço, P1 e P2 e P3 e P4, sendo nestes dois últimos, mais elevado (Figura 158).

Os valores de CE também se diferenciam em ambientes, sendo nos P1 e P2, valores inferiores e valores elevados nos P3 e P4, com o valor máximo logo acima de 600 µS, contudo, o valor médio neste perfil chega a apenas 200 µS, o que também representa uma redução significativa em relação aos transectos T1w, T2w e T3w (Figura 158).

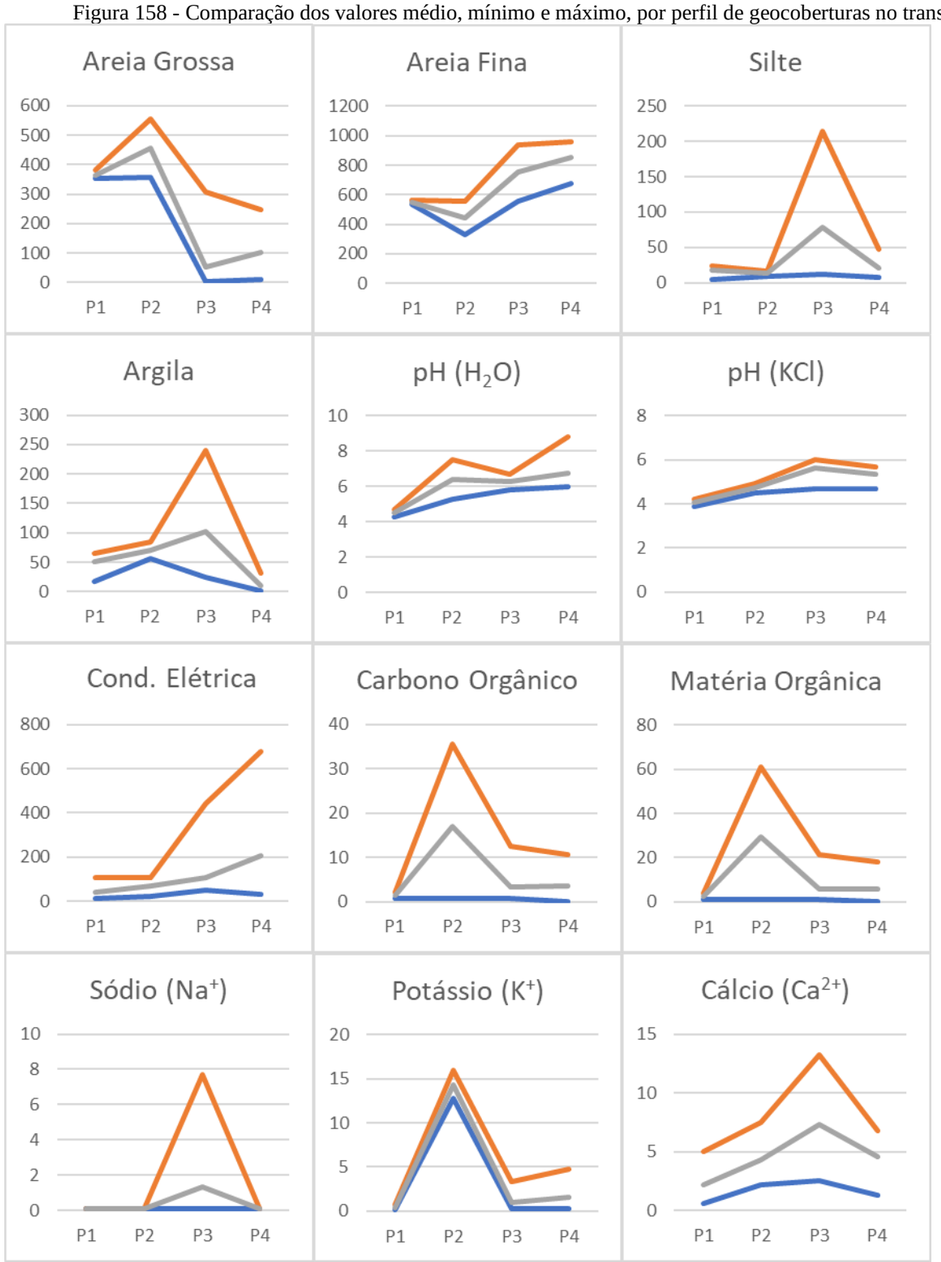
Já os valores de CO e MO também apresentam diferenciação entre os ambientes, contudo, no P1 foram registrados os menores valores (Figura 158). No P2 foram registrados os maiores valores, chegando ao máximo pouco acima de 30 g/kg. Já nos perfis P3 e P4, os valores são praticamente estáveis, com máxima em cerca de 10 g/kg para o CO (Figura 158).

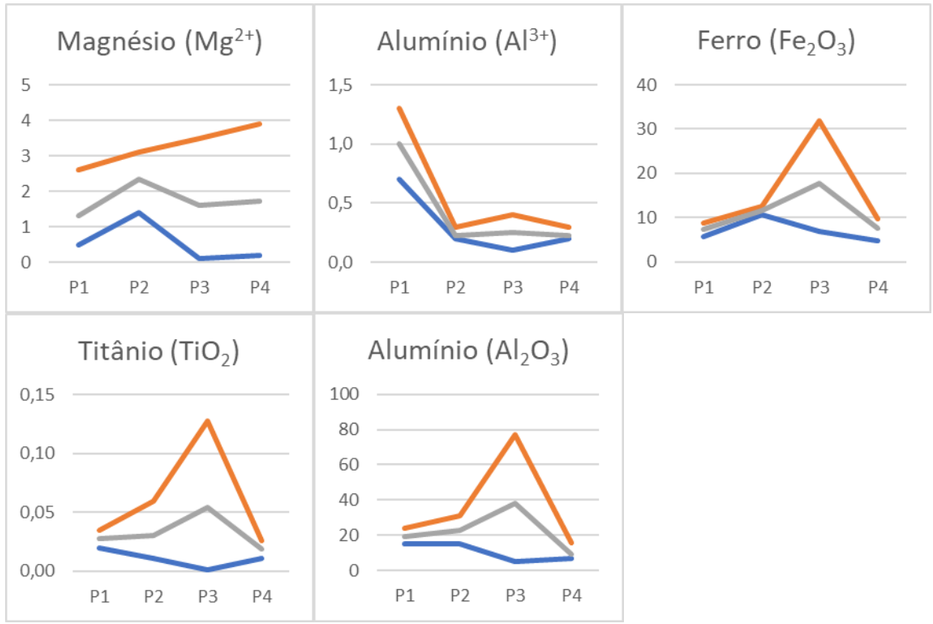
Os cátions trocáveis apresentam diferentes comportamentos, sendo que o Na possui pouca quantidade, exceto no P3, cujo valor é muito discrepante dos demais perfis (Figura 158). Já o K apresenta valor muito alto no P2, voltando a registrar baixos valores nos P1 e P4, e um valor intermediário no P3. O Ca possui os maiores valores no P3, seguido por P4. Contudo, os valores nos P1 e P2 estão próximos ao que foi registrado no P4 (Figura 158).

Já os valores para o Mg representam diferentes comportamentos, sendo o valor máximo registrado no P4, mas o maior valor médio no P2 (Figura 158). Os valores são crescentes de P1 para P2, e muito menores e estáveis entre P3 e P4. Os cátions trocáveis para o Al apresentam os maiores valores no P1, reduzindo-se e se mantendo estáveis nos demais perfis (Figura 158).

Já os óxidos, como o Fe, apresentam baixos valores nos perfis drenados, P1 e P2 e valor alto no P3, retornando próximo aos valores dos perfis drenados no P4. Este comportamento é semelhante para os óxidos de Ti e Al (Figura 158).

Figura 158 - Comparação dos valores médio, mínimo e máximo, por perfil de geocoberturas no transecto T4w.





Legenda:

P1: Perfil 1

P2: Perfil 2

P3: Perfil 3

P4: Perfil 4

Unidades de medida

Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila:	g/cm^{-3}
Condutividade elétrica:	µS
Carbono orgânico e matéria orgânica:	g/kg
Cátions trocáveis: Sódio (Na^{+}), Potássio (K^{+}), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}):	$cmolc/dm^{-3}$
Óxidos: Ferro (Fe_2O_3), Titânio (TiO_2) e Alumínio (Al_2O_3):	g/kg^{-1}

Valor mínimo:

Valor médio:

Valor máximo:

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 159 estão apresentados resultados das análises normalizados em log conforme sua representação no gráfico *matrix plot*, permitindo a comparação dos valores por meio das cores representadas para cada horizonte/camada dos perfis em suas respectivas análises.

Por meio da análise do gráfico (Figura 159), fica perceptível verificar que a areia grossa está presente nos perfis P1 e P2 e em menor teor nos perfis P3 e P4. Em todo o transecto, há abundância de areia fina. O silte tem pouco teor nos perfis drenados, P1 e P2, e é mais abundante em maior profundidade no perfil P3. Os perfis contêm pouca argila (Figura 159), mas o que tem menor teor é o P4, em que os valores mais esverdeados e azulados estão mais presentes.

Os perfis P1 e P2 apresentam características semelhantes com predominância de textura arenosa (Figura 159), principalmente de areia grossa cujo valor médio é de 408,25 g/cm^{-3}, há baixos valores de Na, sendo 0,12 $cmolc/dm^{-3}$ de média, em todos os perfis deste grupo, seguidos pela escassez de K, cuja média é de 7,34 $cmolc/dm^{-3}$. Os valores de óxido de Ti são os menores no perfil P1, permanecendo baixos em todos os demais perfis. Os óxidos de Al são menores nos perfis P1 e P2, com média de 20,95 g/kg^{-1} se comparados com os perfis P3 e P4, com média de 23,73 g/kg^{-1} (Figura 159).

No grupo dos perfis P3 e P4 o teor de silte é maior, sendo média de 49,73 g/cm^{-3} em relação à média de 15,76 g/cm^{-3} dos perfis P1 e P2 (Figura 159). Os valores de CE, aqui com média de 159,04 µS, também são maiores do que nos P1 e P2, cuja média é de 54,22 µS. Há menos MO neste grupo, com média de 5,93 g/kg do que nos perfis P1 e P2, cuja média é de 15,90. O óxido de Fe está em maior teor nos perfis P3 e P4, com média de 9,49 g/kg^{-1}, do que nos perfis P1 e P2, com média de 12,60 g/kg^{-1}. Já o óxido de Al, possui maior quantidade nos perfis P1 e P2, com média de 30,54 g/kg^{-1}, estando nos perfis P3 e P4 com média de 23,73 g/kg^{-1} (Figura 159).

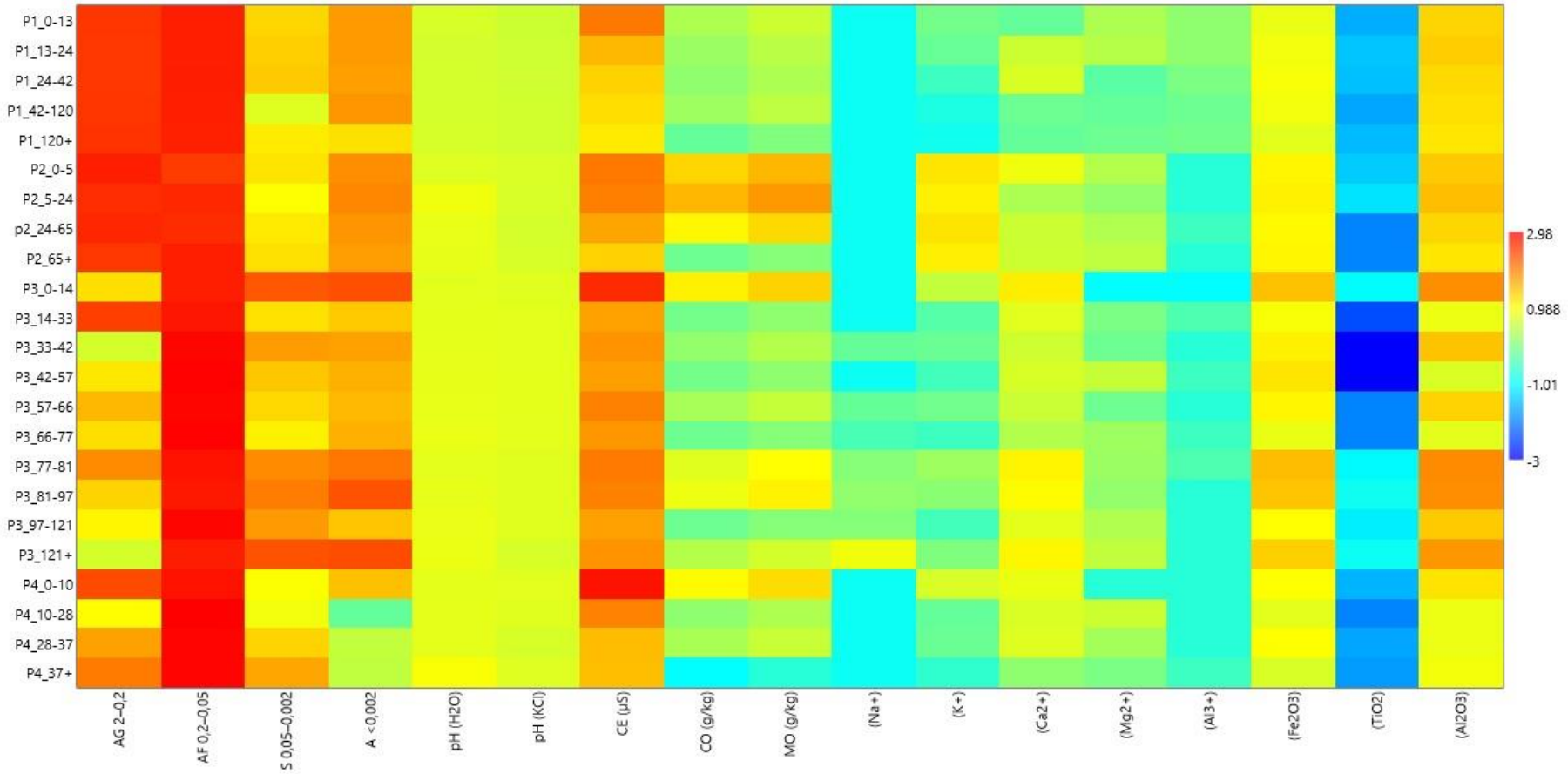
Uma característica importante neste transecto é que os valores de Na são predominantemente menores, com média de 0,42 $cmolc/dm^{-3}$, do que os valores de Al^{3+} $cmolc/dm^{-3}$ e K^{+} $cmolc/dm^{-3}$, com médias de 0,42 e 0,42 neste transecto, respectivamente, o que não ocorre nos transectos T1w e T2w (Figura 159).

Como nos demais transectos, os valores de pH não permitem a variação dos perfis no transecto (Figura 159). Os valores de CE também não possuem uma grande diferenciação entre ambientes nos perfis. Contudo, é possível verificar que seu valor é maior em superfície. Os valores de cátions trocáveis apresentam-se com baixos valores, principalmente Na e Al, não permitindo uma delimitação entre ambientes para estes resultados neste gráfico (Figura 159).

Os valores dos óxidos também têm pouca diferenciação visual no gráfico e os valores de Ti são os menores para todo o transecto T4w.

Na análise do gráfico (Figura 159), é possível perceber diferenciações entre os perfis separadamente, contudo, seu agrupamento, principalmente sobre os resultados das análises químicas fica prejudicado aqui. Apenas para os resultados as análises físicas, como a granulometria, os perfis podem ser melhor discriminados neste gráfico (Figura 159).

Figura 159 - Comparação dos valores normalizados para as análises realizadas no transecto T4w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.5.3. Análise da subsuperfície da subunidade P3 – Baixo Pantanal - com GPR

Nesta subunidade P3 do PRP, a análise da estrutura subsuperficial por meio dos radargramas foi realizada em um segmento da vertente, localizada em uma superfície plana, semelhante a um terraço, localizado há cerca de 3 m de altura da parte mais baixa da planície de inundação, onde estão as lagoas e meandros, e o próprio canal do rio Pandeiros. Este terraço se prolonga no sentido leste – oeste, sendo interceptado pelo rio Pandeiros na extremidade oeste. No sentido norte – sul, ele possui uma largura de cerca de 500 metros em média. Contudo, partes desta superfície ficam alagadas durante as inundações de maior intensidade, como pode ser verificado nas imagens de satélite captadas durante os pulsos de inundação.

O local onde foram coletados os dados de GPR é um destes que ficam temporariamente submersos durante as grandes inundações. Os radargramas Perfil 3, 6 e 5 estão localizados no sentido sudoeste – nordeste, em sentido perpendicular à área de inundação. Os Perfis 2, 1 e 4 estão localizados no sentido sudeste – noroeste, no sentido paralelo à área inundada (Figura 160).

A tradagem foi realizada próximo à interseção dos Perfis 1 e 6. A água aflorou em 282 cm e foram coletadas amostras até 382 cm. Predomina uma matriz arenosa, com diferentes graus de umidade. Já próximo à superfície, a partir de 95 cm, surgem os primeiros seixos, com até 0,5 cm de diâmetro, em pequena quantidade em relação à matriz arenosa. Estes vão aumentando sua dimensão e se tornando mais abundantes a partir de 166 cm, chegando a uma dimensão máxima de 4 cm de comprimento, com forma angulosa, entre 299 e 319 cm.

Esta base parece ser semelhante àquela encontrada nos levantamentos realizados na subunidade P2, onde a partir de 304 cm de profundidade ocorrem vários e grandes seixos angulosos, com até 5 cm de diâmetro, podendo formar um tipo de pavimento geral nestas subunidades P2 e P3.

Aqui ocorrem também níveis de laterita, que surgem a partir de 137 cm, com partículas acima de 1 cm de diâmetro, aumentando seu diâmetro até 3 cm, em 258 cm de profundidade. As principais informações morfológicas do perfil estão descritas no inferior da figura 160, juntamente com a localização e croqui do levantamento realizado.

Assim como na subunidade P2 do PRP, neste levantamento, foram identificadas 5 feições em cada perfil, a partir da interpretação dos dados dos radargramas (Figura 160). Contudo, a limitação técnica do aparelho de sondagem, que em terreno com nível d'água próximo à superfície não permitiu a coleta de amostras abaixo de 383 cm e as feições

identificadas aqui tendem a ter uma profundidade maior, portanto, quase todos os materiais coletados estão na Feição 2. A localização da tradagem está identificada como TR3 nos Perfis 1 e 6.

A Feição 2 (F2) teve seu material coletado, podendo ser caracterizada como de matriz arenosa, cuja base é limitada pela presença de seixos, de laterita e em maior profundidade de muitos seixos angulosos, indicando que no passado houve, neste local, um ambiente de alta energia de deposição de material. Em várias posições, a base desta feição (F2), comparando-se os perfis, não possui profundidade homogênea, apesar de estar predominantemente horizontalizada, tendo esta base variando entre 4 m a 6 m (Figura 160).

Em vários perfis deste transecto (Figura 160), o contato F2 e F3, parece formar uma estrutura semelhante a um ou vários paleocanais de drenagem, como pode ser observado na figura 160, Perfil 1, entre 0 e 30 m e 50 m a 70 m de comprimento e entre 4 m e 6 m de profundidade. No Perfil 4, parece haver uma grande descontinuidade entre 20 m e 30 m e 50 m de distância, em uma área de contato entre as Feições F2, F3 e F4 entre 2 m e 8 m de profundidade.

No Perfil 6, ocorrem formas semelhantes, entre 0 e 20 m e 30 m a 60 m de distância e entre 4 m e 6 m de profundidade. Estas formas de paleocanais parecem estar preenchidas pelos materiais de F2, devido elas apresentarem o mesmo padrão de reflexão. Também no Perfil 3, entre 20 m e 40 m e entre 50 m e 70 m, na profundidade entre 4 m e 6 m, novamente ocorrem formas que podem ser correlacionadas com as margens de paleocanais de drenagem.

A Feição 3, F3, não pôde ter seu material coletado para análise, mas nos radargramas elas aparecem como um refletor contínuo com forte amplitude, acompanhando o mesmo comportamento de F2, estando com a mesma forma de margens de paleocanais nos perfis 3, 6 e 5. Ela é a camada mais delgada dentre as demais. Sua profundidade está entre 4 m e 6 m.

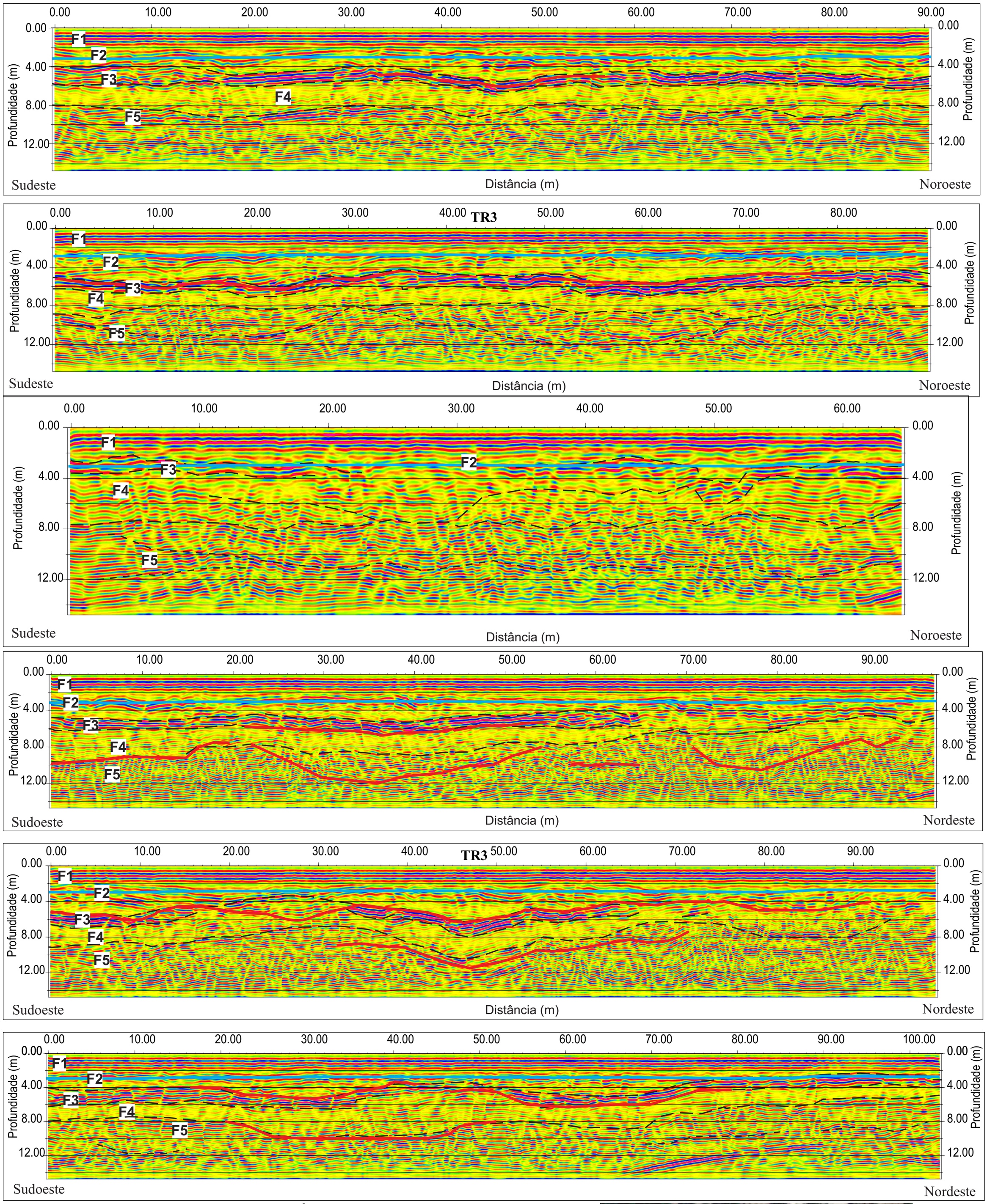
No Perfil 4, ela parece não ocorrer entre 20 m e 30 m de distância e estar rebaixada próximo a 50 m de distância. No Perfil 6, entre 40 m e 50 m, esta feição possui uma forte depressão, chegando até 8 m de profundidade como sua base.

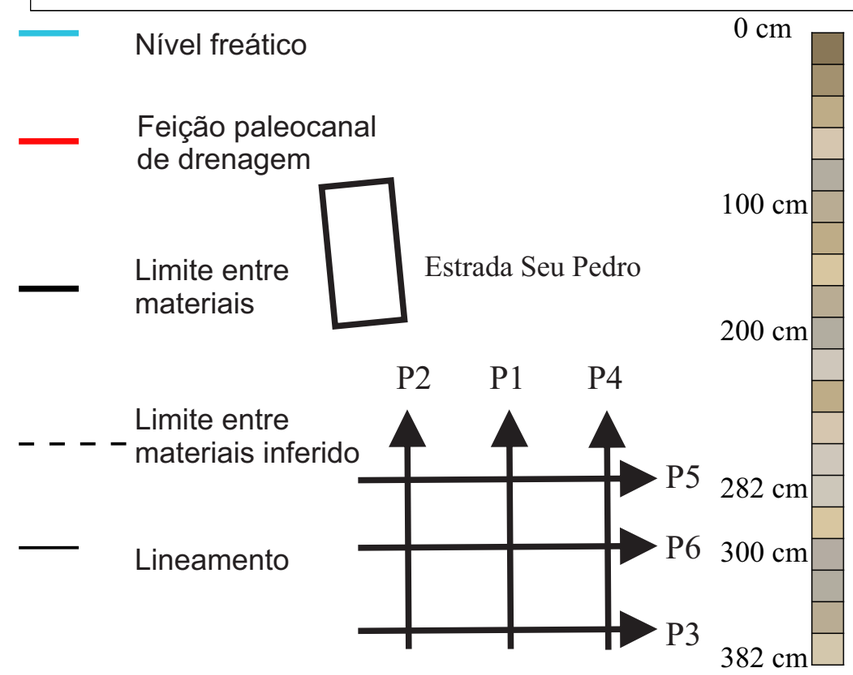
A Feição 4, F4, ocorre a partir de 6 m, em média, de profundidade, logo abaixo de F3. Esta feição F4 tem uma espessura em torno de 2 m a 3 m, sendo maior que a F3 e semelhante à F2. Ela possui um comportamento diferente no Perfil 4, onde parece ocorrer uma espessura maior e uma descontinuidade entre 20 m e 30 m e 50 m de distância. A partir de 50 m de distância ela apresenta uma espessura maior do que 4 m, conforme interpretação dos sinais dos radargramas.

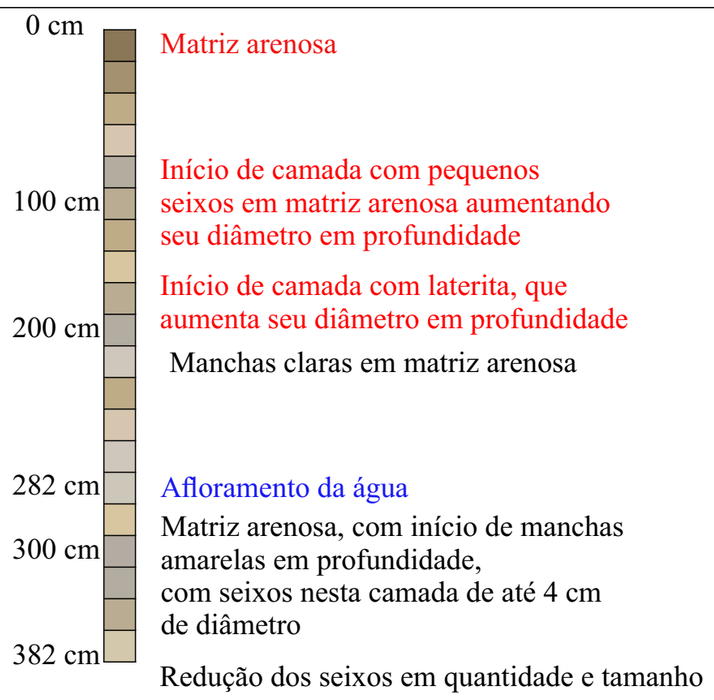
Nos Perfis 5, 6 e 3, a base desta feição, no contato com a Feição 5, F5, como indicado no Perfil 5, entre 0 e 20 m e 20 m a 50 m de distância e a 8 m a 10 m de profundidade, parece ocorrer uma forma semelhante a outro paleocanal de drenagem. No Perfil 6, entre 30 m e 70 m de distância, e a 8 m a 12 m de profundidade, outro paleocanal parece ter ocorrido também. Acima deste sinal, entre as feições F3 e F2, o mesmo canal parece ter continuidade na forma de outro paleocanal.

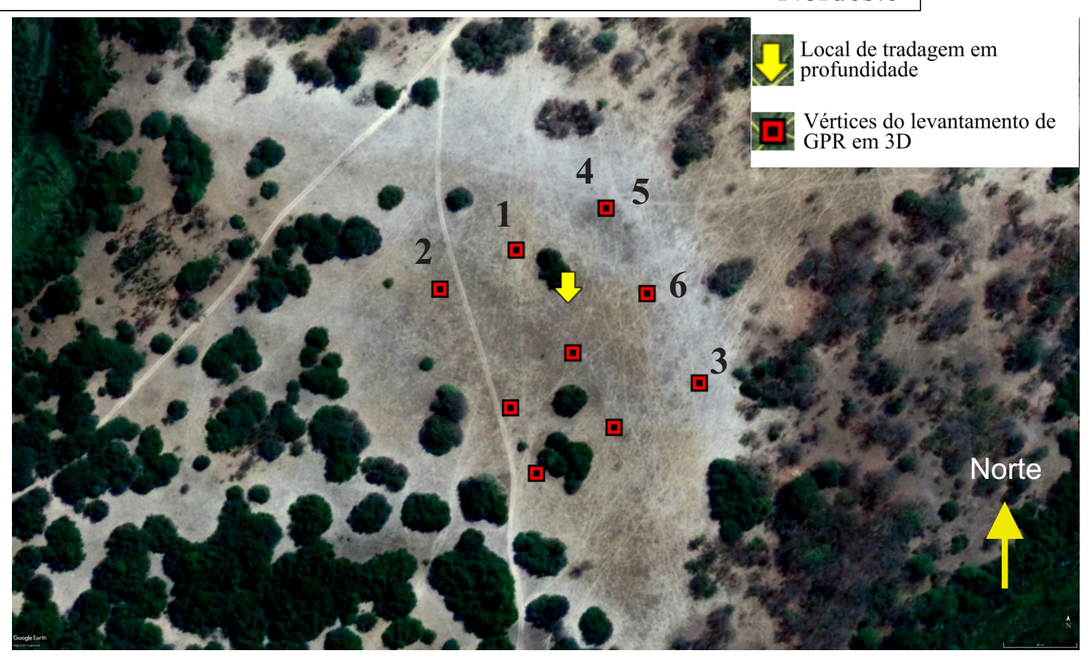
Por fim, no Perfil 3, entre 20 m e 50 m de distância, entre 8 m e 10 m de profundidade, parece ocorrer novamente o paleocanal, sendo que entre 20 m e 40 m de distância, há outro canal acima, com formas similares às já indicadas em F3 que parece ter sido preenchida com material de F2. Já a Feição 5, forma a base do levantamento realizado. Esta base tende a ocorrer a partir de 8 m de profundidade, com a exceção dos locais já indicados, onde F4 parece ter formado estruturas abaixo desta cota, chegando a 12 m de profundidade entre 40 m e 50 m de distância no Perfil 6.

Figura 160 - Radargrama da subunidade P3: o Baixo Pantanal do rio Pandeiros









Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Radargrama do perfil Tr3 - Subunidade P3 - Baixo PRP - Terraço fazenda Pedro Neves

5.3.6. Caracterização das geocoberturas da subunidade P4 do PRP: Foz do rio Pandeiros e Sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco

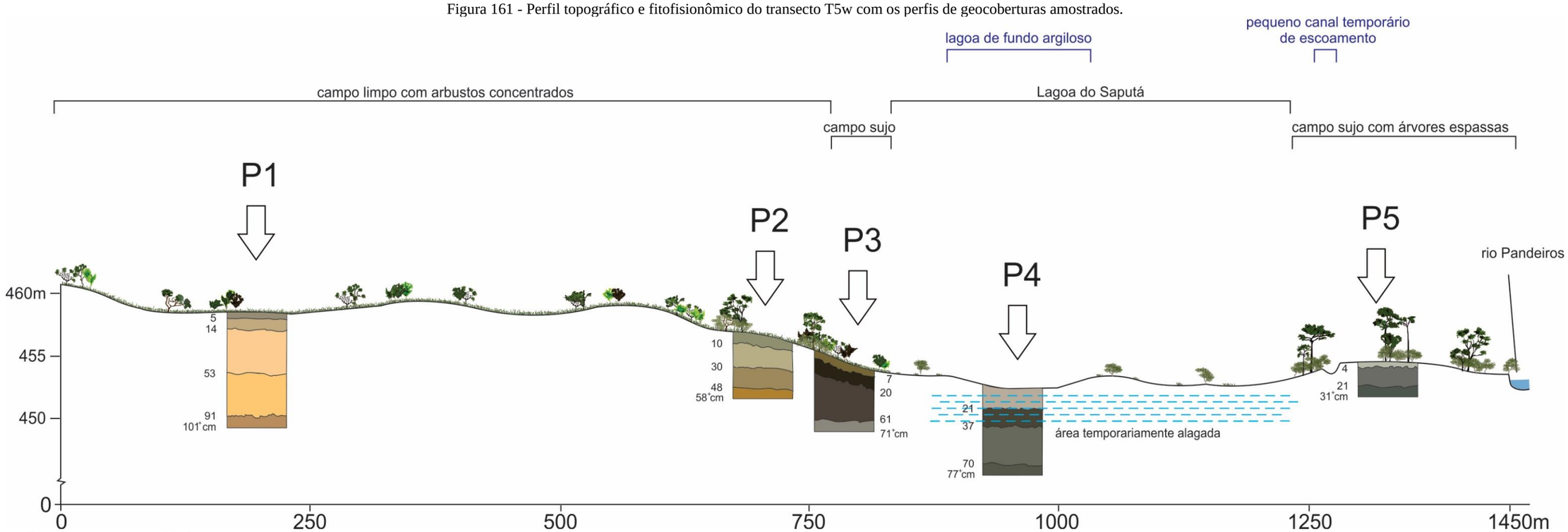
5.3.6.1. Análise das geocoberturas superficiais

No transecto T5w, nos perfis P1 e P2, continua a predominância da textura arenosa, principalmente areia grossa, com média de 555,29 g/cm^{-3}. Contudo, a partir do perfil P3 até o perfil P5 há uma alteração significativa em termos de composição de materiais nas geocoberturas, que passam a tornar-se, predominantemente argilosas tendo um valor médio de 568,53 g/cm^{-3} nos perfis P3, P4 e P5.

O transecto T5w é representativo da subunidade P4 do PRP. O perfil topográfico e fitofisionômico está representado na figura 161. Sua localização está apresentada na figura 162. Este transecto parte da porção alta da vertente, a uma altitude de 460 m e segue em direção à Lagoa do Saputá, que é temporária, mas em todos os episódios de cheia do rio São Francisco ela inunda, possuindo uma altitude em torno de 450 m. A sudoeste da lagoa, há uma série de pequenos meandros, outras pequenas lagoas, também temporárias, formando um terraço entre a Lagoa do Saputá e o canal atual do rio Pandeiros. Foram analisados 5 perfis em um transecto de aproximadamente 1.150 m como no transecto T4w. A variação altimétrica de todo o transecto é de cerca de 20 m.

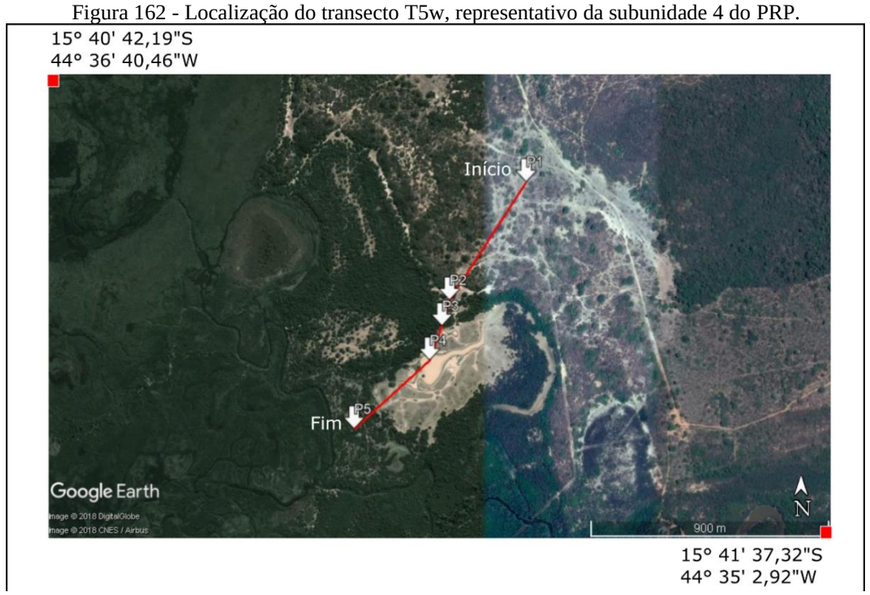
A cobertura vegetal ao longo do transecto é muito variada, começando no perfil P1 entre um conjunto de moitas com arbustos e árvores de pequeno porte e pouquíssimas árvores de grande porte separadas por gramíneas e arbustos que variam de tamanho em função da estação climática, chegando a morrer durante o auge da estação seca (Figura 163). No perfil P2, existem grandes aglomerados de arbustos de até 4 metros de altura, separados por grandes extensões de áreas com cobertura de gramíneas. No perfil P3 e P4, no interior da lagoa do Saputá, não há cobertura vegetal sobre os depósitos argilosos. No perfil P5, existe uma cobertura vegetal mais densa, composta por arbustos, pequenas árvores e poucas gramíneas, também separadas em pequenas moitas com concentrações de arbustos e cipós. A Figura 163 reúne algumas fotografias que retratam a cobertura vegetal destes perfis.

Figura 161 - Perfil topográfico e fitofisionômico do transecto T5w com os perfis de geocoberturas amostrados.



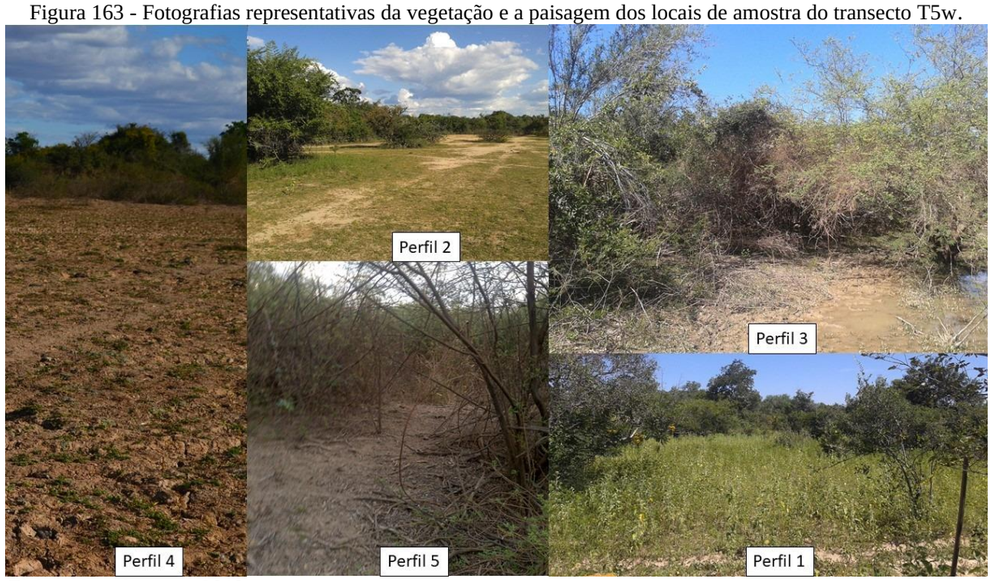
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Figura 162 - Localização do transecto T5w, representativo da subunidade 4 do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

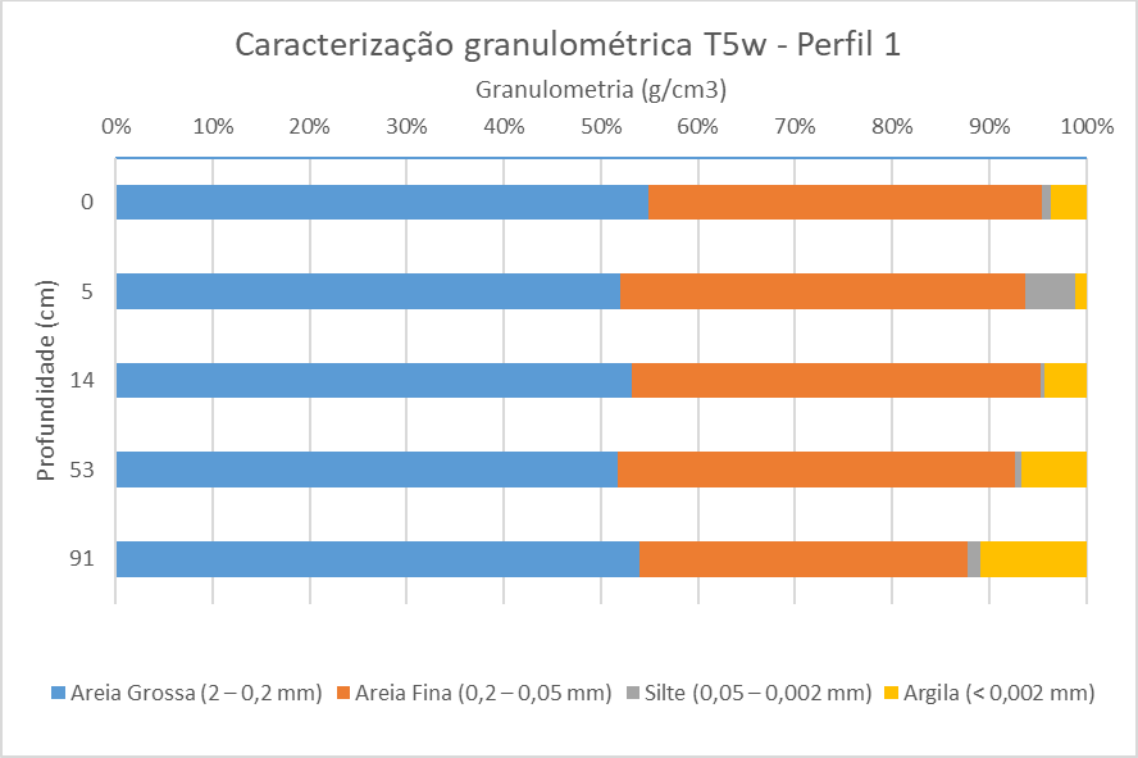
Figura 163 - Fotografias representativas da vegetação e a paisagem dos locais de amostra do transecto T5w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P1, que está localizado no alto da vertente, tem os resultados das análises granulométricas na figura 164. Sua composição é predominantemente de areia grossa, com valor médio de 529,30 g/cm^{-3}, mas também existe muita areia fina, com média de 396,78 g/cm^{-3}. Silte e argila participam em quantidades muito pequenas na matriz das geocoberturas, com valores médios de 17,26 g/cm^{-3} e 52,48 g/cm^{-3} respectivamente, com exceção da camada de 91 cm, em que há um aumento da quantidade de argila e redução da areia fina, mas a classificação ainda continua como arenosa.

Figura 164 - Caracterização granulométrica do Perfil 1 - transecto T5w.



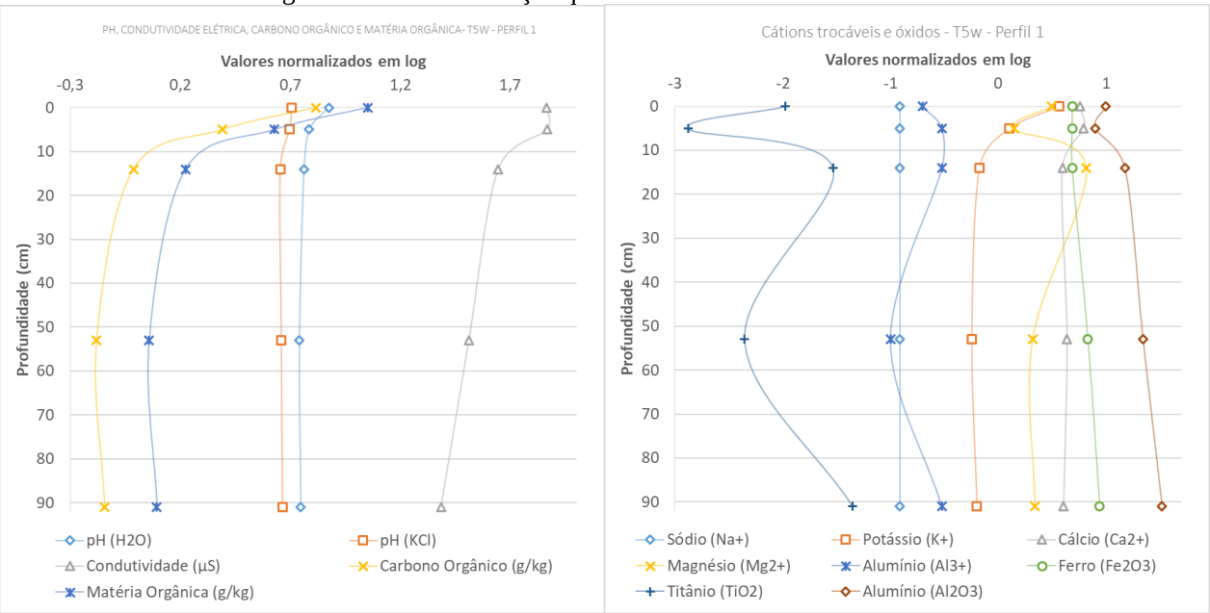
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na Figura 165 estão os resultados das análises químicas do perfil P1, onde observa-se valores mais elevados de pH, com média de 6,10 em H_2O, CE, com valor médio de 49,54 µS e MO, com valor médio de 3,90 g/kg. Até 14 cm de profundidade e entre 14 cm e 91 cm há uma redução em todos estes parâmetros, permanecendo os valores aproximadamente constantes, com exceção da CE que vai reduzindo o valor por todo o perfil.

A composição dos elementos segue o padrão dos transectos T1w, T2w, T3w e T4w, à montante: altos teores de óxidos de Fe e Al, além de Ca^{2+}, registrando média de 6 g/kg^{-1}, 17,59 g/kg^{-1} e 4,85 cmolc/dm^{-3}, respectivamente, e baixos teores de óxido de Ti e Na, com valores médios de 0,02 g/kg^{-1} e 0,12 cmolc/dm^{-3}, respectivamente, como no transecto T4w. A exceção

a este comportamento é do Mg, cujo valor médio é de 3,07 cmolc/dm^{-3} que na superfície possui altos valores, reduzindo em 5 cm e voltando a aumentar entre 10 cm e 20 cm, reduzindo novamente em profundidade, permanecendo estável a partir daí, possuindo valor máximo de 6,56 cmolc/dm^{-3}. Os valores de K, cuja média para o perfil é de 1,36 cmolc/dm^{-3}, reduzem da superfície até entre 10 cm e 20 cm, também permanecendo estável a partir daí.

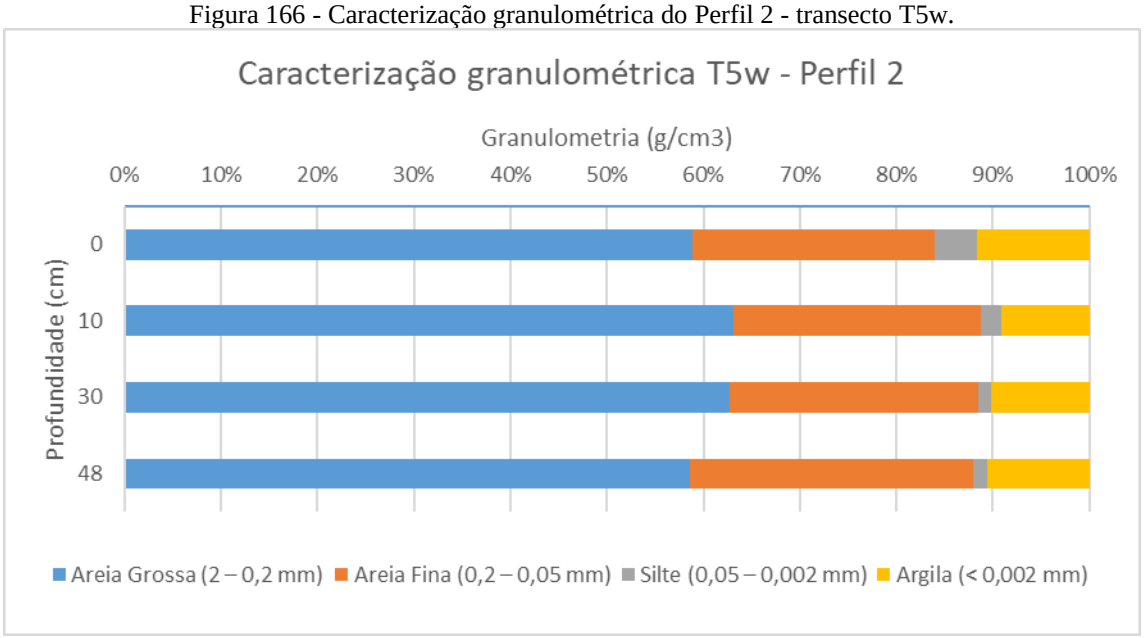
Figura 165 - Caracterização química do Perfil 1 - transecto T5w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O perfil P2, que também ainda se localiza sobre uma área predominantemente drenada, contudo mais baixa em relação ao perfil P1, também é arenoso, com média de 417 g/cm^{-3}, constituído por muita areia grossa, com média para o perfil de 581,28 g/cm^{-3}, seguido por uma menor quantidade menor de areia fina, com média de 252,73 g/cm^{-3}. O teor de silte sempre é muito baixo, com média de 22,13 g/cm^{-3}, e a argila, com média de 99,40 g/cm^{-3}, exceto nas camadas entre 0 a 10 cm e abaixo de 48 cm onde possui cerca de 10% da composição das geocoberturas. A figura 166 apresenta estes valores.

Figura 166 - Caracterização granulométrica do Perfil 2 - transecto T5w.

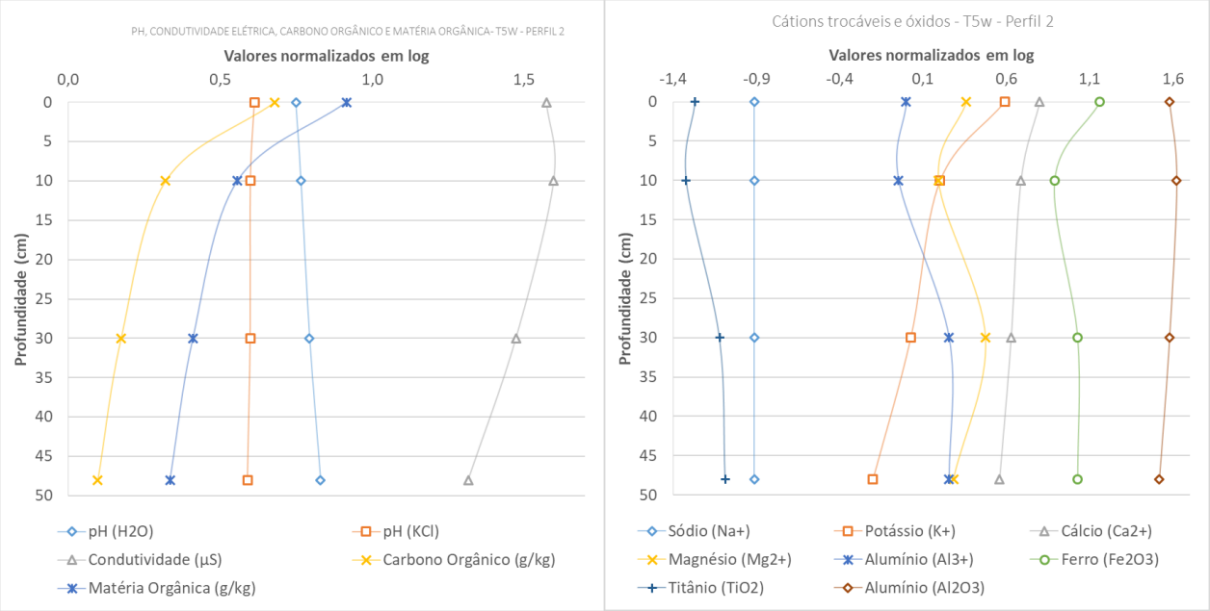


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O resultado das análises químicas do perfil P2 estão na figura 167. Os valores de pH, registram média de 6,1 em H_2O, são relativamente mais baixos do que no perfil P1 de T5w e em comparação aos demais transectos. A CE tem valores elevados, com média de 31,83 µS, com distribuição homogênea até os 30 cm e abaixo sofre uma redução, mas permanecendo também homogênea. A MO possui maior composição na camada superficial, com valor máximo de 8,20 g/kg, mas vai decrescendo em razão da profundidade, registrando média de 4,15 g/kg.

Os demais elementos químicos seguem o mesmo padrão dos demais: altos valores de óxidos de Fe e Al, além de Ca^{2+}, com valores médios para o perfil de 10,89 g/kg^{-1}, 37,71 g/kg^{-1} e 4,77 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente. Baixos valores de óxido de Ti e Na^{+}, com média de 0,07 g/kg^{-1} e 0,12 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente. Com exceção do K, com valor médio de 1,80 $cmolc/dm^{-3}$, que segue em redução desde a superfície até em profundidade. Os demais valores possuem relativa estabilidade ao longo do perfil 2.

Figura 167 - Caracterização química do Perfil 2 - transecto T5w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

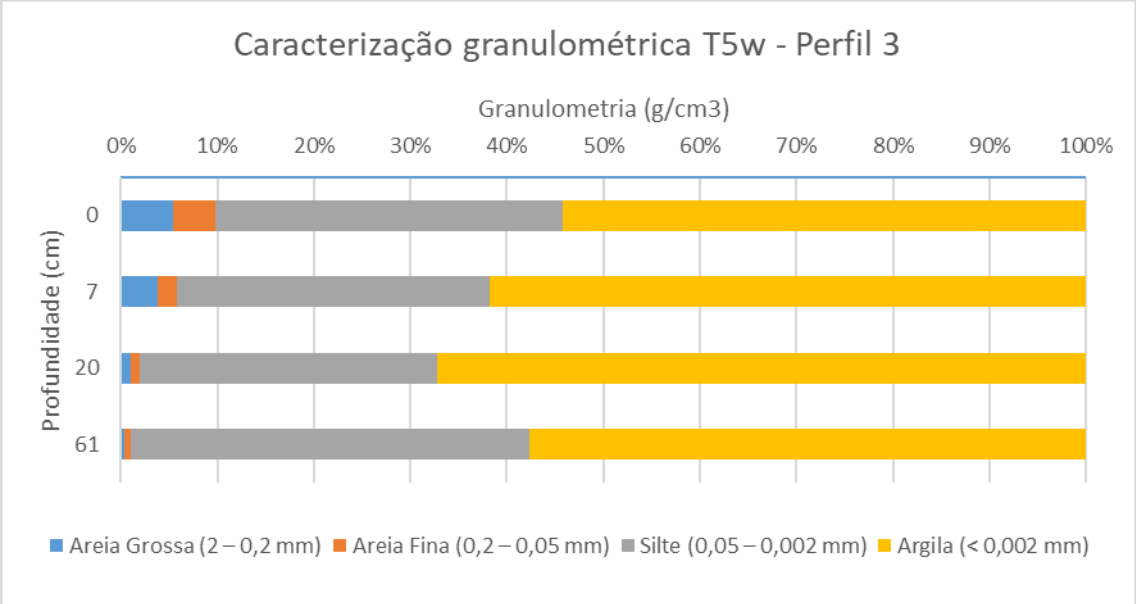
O perfil P3 deste transecto representa uma mudança completa em termos de características das geocoberturas, estando localizado na margem da Lagoa do Saputá, que é temporária, mas que inunda durante os pulsos de inundação. A figura 168 apresenta suas características granulométricas. Trata-se de um perfil predominantemente argiloso, com média de 594,40 g/cm^{-3}, mas também com muito silte, registrando média no perfil de 346,20 g/cm^{-3}, e pequena quantidade de areia, com valor médio de apenas 45,71 g/cm^{-3}.

Em comparação com os perfis P1 e P2, que são predominantemente arenosos, o perfil P3 apresenta uma grande mudança. Nota-se a pequena quantidade de areia no perfil P3, o que pode demonstrar uma pequena quantidade de material sendo transportado para o interior da lagoa e uma grande influência, talvez, dos sedimentos transportados pelo fluxo do rio São Francisco durante o início dos pulsos de inundação, sendo depositados na lagoa, que é um ambiente de baixa energia.

Outra possibilidade é que esta área represente um afloramento da Formação Posse, Fácies 2, pois esta é constituída por material argiloso, incluindo a smectita, formando depósitos de até 3 m de profundidade, conforme indicado por (CAMPOS e DARDENNE, 1997).

A Lagoa do Saputá está ligada ao canal do rio Pandeiros por alguns canais, na forma de meandros, que estabelecem a conexão entre a lagoa e o rio, durante os pulsos de inundação. Exceto esta conexão, não há um afluente que deságue nela, permanecendo a mesma relativamente isolada do canal principal do rio Pandeiros após a estação úmida.

Figura 168 - Caracterização granulométrica do Perfil 3 - transecto T5w.



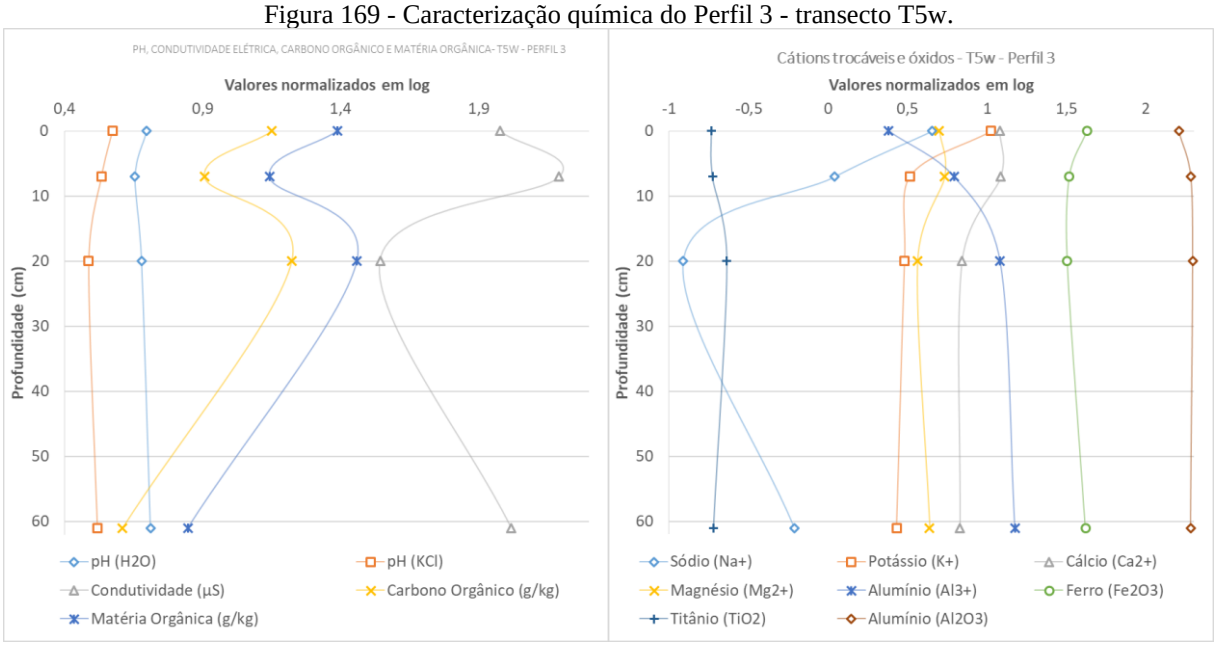
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 169 apresenta os valores das análises químicas para o perfil P3. Os valores de pH são extremamente baixos, com média de 4,85 em H_2O, mas estáveis ao longo do perfil, enquanto os valores de CE são elevados nas camadas de 7 cm a 20 cm e a partir de 61 cm, registrando valor máximo de 155,50 µS e valor médio de 97,38 µS. Em oposição, os maiores valores de MO, com média de 18,53 g/kg e valor máximo de 28,80 g/kg, estão localizados nas camadas entre 0 e 7 cm e de 20 cm a 61 cm.

Os valores dos elementos analisados têm um comportamento diferenciado: os maiores teores são de óxidos de Fe e Al, com média de 37,27 g/kg^{-1} e 185,13 g/kg^{-1}, respectivamente, sendo este o maior valor de óxido de Al em todos os perfis analisados. Contudo, o Al^{3+} é o terceiro maior valor a partir de 20 cm de profundidade, registrando máximo de 15 $cmolc/dm^{-3}$. Os valores de Na, com média de 1,59 $cmolc/dm^{-3}$, reduzem a partir da superfície até 20 cm, seguindo um leve aumento em profundidade. Os valores de Ca e K também sofrem uma pequena redução em profundidade, com média de 9,48 $cmolc/dm^{-3}$ e 4,89 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente. Os menores valores correspondem ao óxido de Ti e ao Na^{+}, com valores médios de 0,20 g/kg^{-1} e 1,59 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente.

As argilas depositadas nesta lagoa são expansíveis, e durante o período de seca, formam fendas na superfície da lagoa inteira com mais de 10 cm de largura, penetrando até mais de 90 cm de profundidade, na medida em que os sedimentos se tornam menos úmidos.

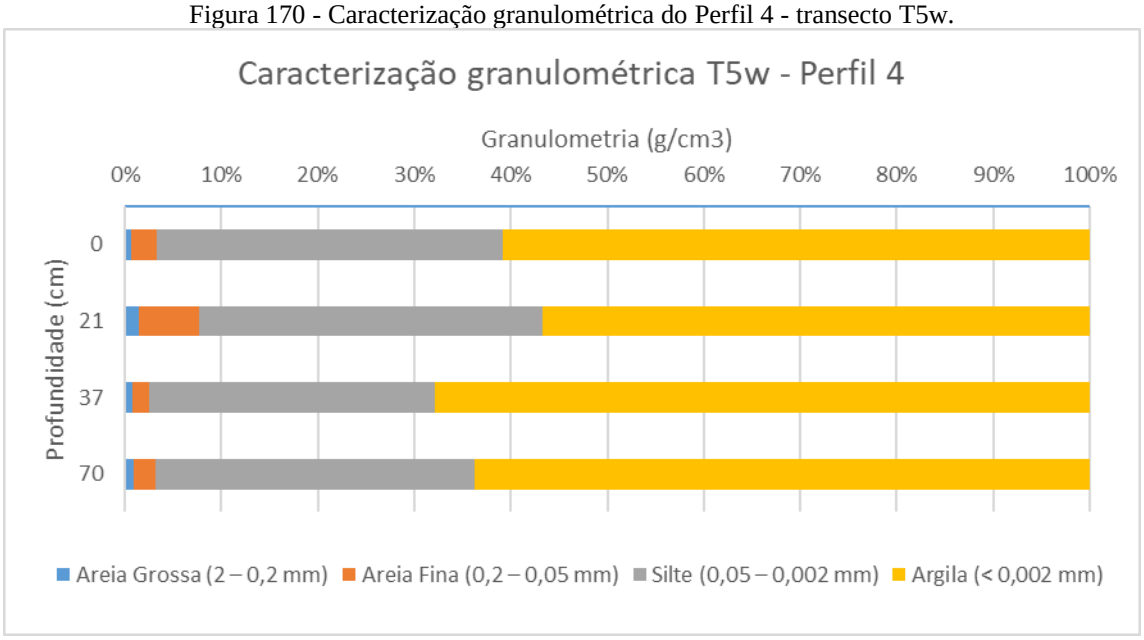
Figura 169 - Caracterização química do Perfil 3 - transecto T5w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As características granulométricas do perfil P4 estão na figura 170. Há uma predominância de argilas em todo o perfil, com valor médio de 597,40 g/cm^{-3} seguido de uma grande quantidade de silte, com média de 321,68 g/cm^{-3}. A composição de areia é ainda menor do que no perfil P3, registrando média de 40,16 g/cm^{-3}. Este perfil está localizado na área central da lagoa, em uma das áreas mais profundas dela, e a coleta foi possível devido à atividade de campo ter sido realizada no final da estação seca.

Figura 170 - Caracterização granulométrica do Perfil 4 - transecto T5w.



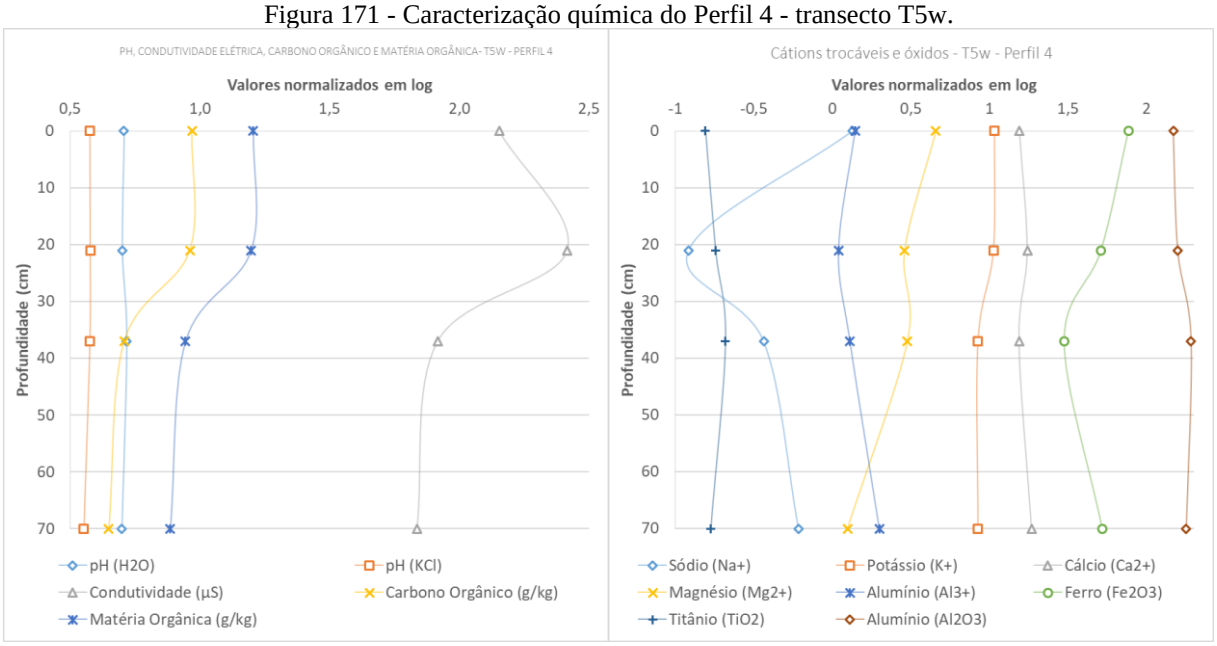
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 171 estão os resultados das análises químicas do perfil P4, onde percebe-se uma homogeneidade nos valores de pH, com valor médio de 5,08 em H_2O, e altos valores de CE nas camadas entre 0 e 21 cm, com uma redução a partir de 37 cm, registrando uma média para o perfil de 138,50 µS. Os valores de MO também são mais elevados até 37 cm e menores a partir desta profundidade, registrando média de 12,10 g/kg. Existem valores maiores de CO em superfície, com valor máximo de 9,30 g/kg, que podem ser em consequência de pequenas gramíneas e herbáceas que se desenvolvem quando a água a lagoa está secando, mas morrem assim que o nível da água seca e as argilas começam a se retrair.

Outra possibilidade pode ser oriunda da pecuária extensiva que se desenvolve no local, pois a lagoa é um caminho para o gado que ao transitar sobre a lagoa acaba depositando suas fezes na mesma, enriquecendo com MO as camadas superficiais, que acabam se misturando devido ao pisoteio do gado.

Os elementos presentes no perfil P4 são muito semelhantes ao perfil P3. Com altos valores de óxidos de Fe, Al e o Ca+ volta a ser o terceiro elemento mais comum, registrando valores médios no perfil de 52,51 g/kg^{-1}, 169,14 g/kg^{-1} e 16,74 cmolc/dm^{-3}, respectivamente. Aqui, o Al^{3+} volta a ser um elemento com menor teor, com valor médio de 1,45 cmolc/dm^{-3}, acima apenas do Na^{+} e do óxido de Ti, estes, com valores médios de 0,61 g/kg^{-1} e 0,18 cmolc/dm^{-3}, respectivamente.

Figura 171 - Caracterização química do Perfil 4 - transecto T5w.

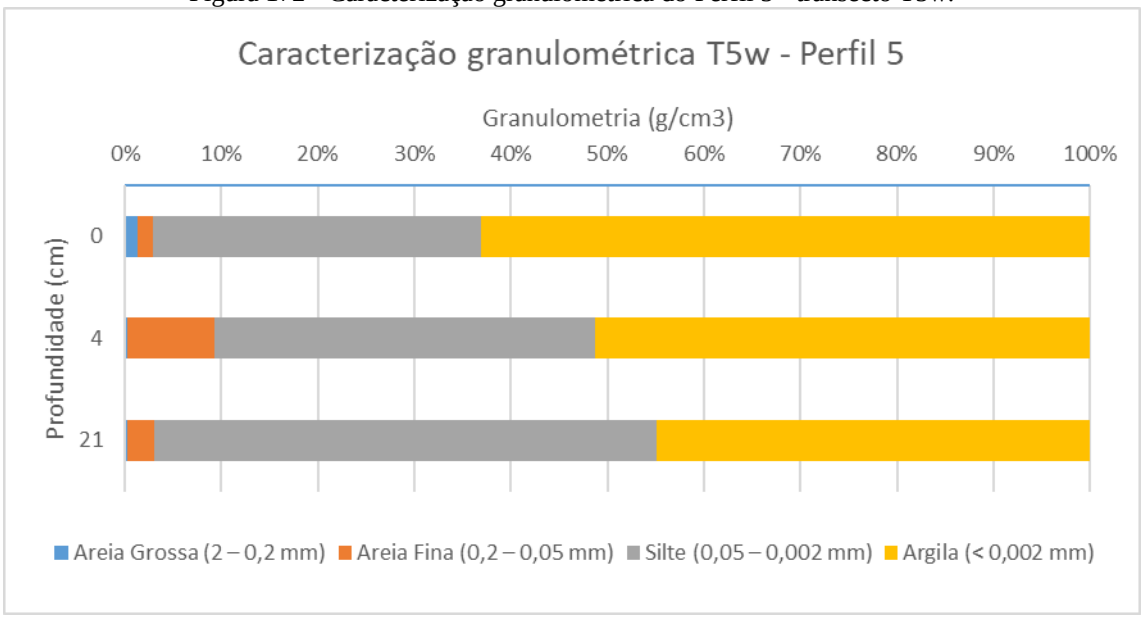


Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

O último perfil do transecto T5w está localizado em uma área de terraço entre a lagoa do Saputá e o canal do rio Pandeiros. A figura 172 apresenta os valores de granulometria do perfil, que também é muito argiloso, com valor médio de 513,80 g/cm^{-3} e apresenta caraterísticas similares às dos perfis P3 e P4. Os valores de areia também são muito reduzidos, com média de 49,5 g/cm^{-3}, que é um resultado muito interessante, pois todos os transectos a montante, bem como as vertentes são predominantemente arenosos.

Contudo, nos perfis P3, P4 e P5 do transecto T5w ocorre esta mudança brusca de materiais, que passam a ser argilosos a muito argilosos e sem grandes quantidades de areia nas camadas de cada perfil. Esta área, dentre estes três perfis, corresponde às maiores áreas de depressão apresentadas na descrição da *wetland* e estão localizadas também a jusante da maior parte da cobertura vegetal e dos sistemas de meandros e lagoas do PRP, o que revela a enorme capacidade de retenção de sedimentos arenosos provenientes de toda a bacia do rio Pandeiros a montante, e que parecem não chegar a este local do PRP, apesar de ter sido observada uma grande carga de areia no fundo do canal ativo do rio Pandeiros neste trecho e a jusante, já muito próximo da foz no rio São Francisco.

Figura 172 - Caracterização granulométrica do Perfil 5 - transecto T5w.



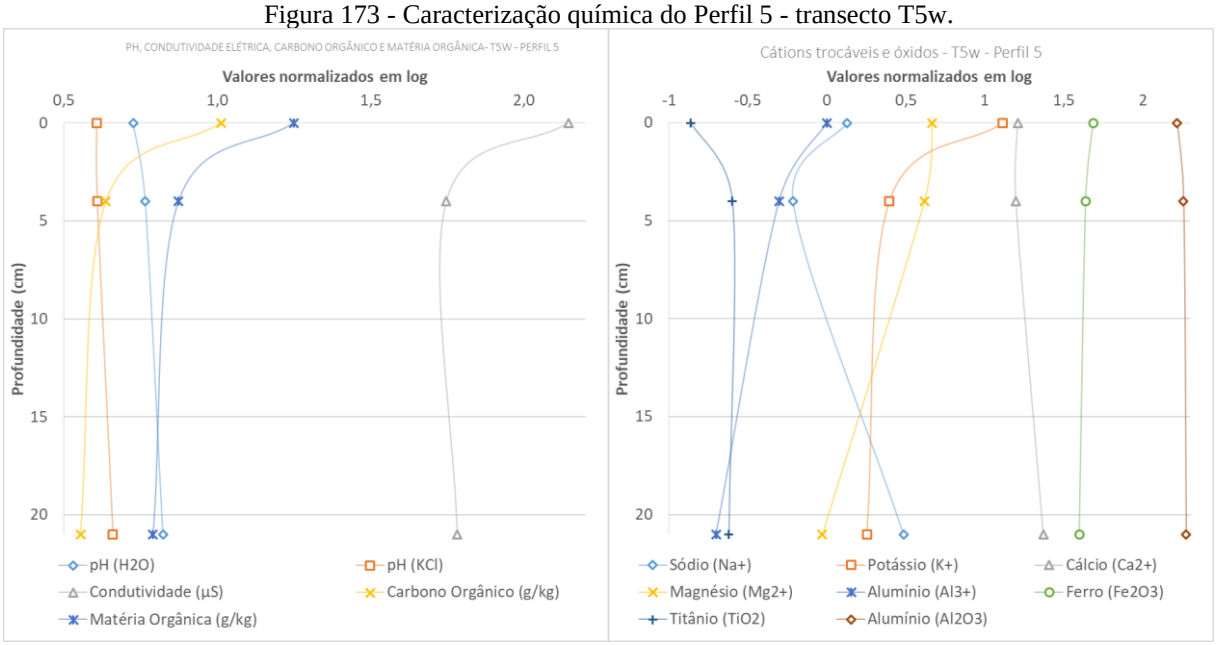
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A figura 173 apresenta os resultados das análises químicas do perfil P5. Percebe-se que os valores têm comportamento similar aos do perfil P4, em que o pH apresenta baixos valores e constantes ao longo do perfil, a CE é maior em superfície, com valor máximo de 139,50 µS e

menor em profundidade, chegando à média de 85,33 µS e a MO com valor médio de 10,47 g/kg, ficando estáveis a partir de 5 cm de profundidade.

Os elementos químicos analisados seguem o padrão dos demais perfis: teores predominantes de óxidos de Fe e Al, além do Ca^{+}, com valores médios de 43,88 g/kg^{-1}, 177,87 g/kg^{-1} e 18,45 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente, e baixos teores de óxidos de Ti e Al^{3+}, com média de 0,21 g/kg^{-1} e 0,57 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente. Na^{+} e K^{+} tem uma variação maior no perfil, reduzindo da superfície até 5 cm, e o Na^{+} aumentando ao longo do perfil e o K^{+} permanecendo estável, como os outros elementos, registrando média no perfil de 1,67 $cmolc/dm^{-3}$ e 5,77 $cmolc/dm^{-3}$, respectivamente.

Figura 173 - Caracterização química do Perfil 5 - transecto T5w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.6.2. Análise lateral do transecto T5w

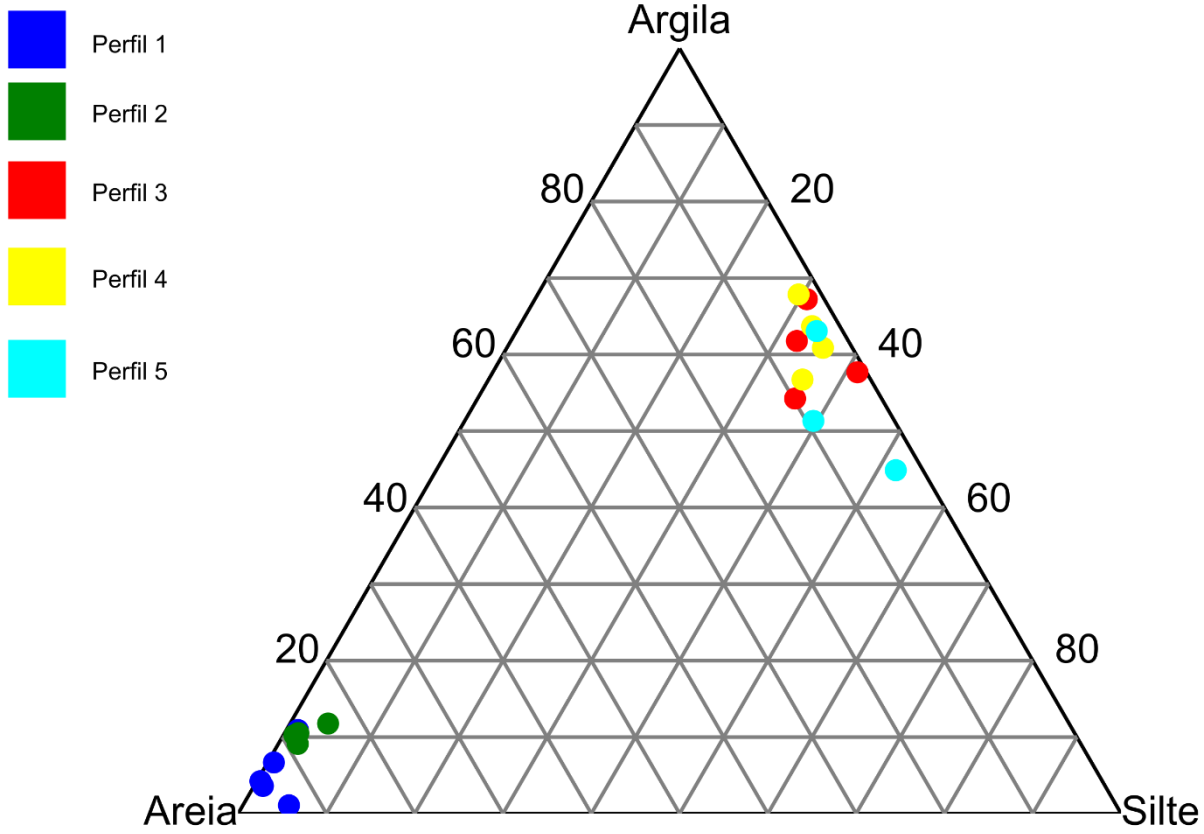
A figura 174 apresenta a classificação textural dos sedimentos, com base nos resultados da análise granulométrica, por meio da adpatação da metodologia proposta do Flemming (2000) para as amostras dos perfis do transecto T5w. A distribuição dos resultados pelo gráfico permite identificar dois conjuntos: um grupo para os perfis P1 e P2, que representam ambientes com maior energia de deposição, e o grupo dos perfis P3, P4 e P5, que estão mais próximos do eixo argila-silte, representando um ambiente deposicional com menor energia.

Aqui são reconhecidos 2 grupos muito diferentes: os perfis P1 e P2 localizados próximos ao componente areia, indicando uma predominância de maior energia na deposição dos

materiais, e os perfis P3, P4 e P5 agrupados, em menor grau de concentração no eixo silte-argila, relevando o ambiente com menor energia de deposição encontrado neste levantamento dentre todos os perfis analisados.

A forma como os dados estão distribuídos, indica que os grupos são muito distintos entre si, o que é verificado em campo. Este transecto é representativo da subunidade P4 do Pantanal, no qual o PRP está em um ambiente de transição com o sistema de lagoas marginais do rio São Francisco. Partindo das vertentes drendadas, onde estão localizados os perfis P1 e P2, chega-se a planície de inundação que é formada pela lagoa do Saputá, a qual é a maior lagoa temporária que não apresenta cobertura vegetal na área do Pantanal, e apresenta uma conexão com o rio Pandeiros a leste e sudeste, como um meandro abandonado. Os materiais dos perfis P3, P4 e P5 são muito abundantes em argila, com distribuição semelhante aos transectos T1w e T2w, contudo, aqui, não existe uma acumulação grande de MO.

Figura 174 - Classificação textural do transecto T5w, indicando o tipo de ambiente de deposição.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os valores comparados entre as medidas de posição média, mínima e máxima para todos os perfis deste transecto estão apresentados na figura 175. Como já foi mencionado no gráfico de classificação ternária (Figura 174), há uma distribuição muito diferente entre os teores de areia grossa e fina, abundantes nos perfis P1 e P2, que se tornam escassos nos perfis P3, P4 e P5. Em oposição, os valores de silte e argila se tornam muito expressivos nestes perfis, inclusive com os valores médios de teor de argila aproximando-se de 60%.

Os valores de pH em H_2O oscilam entre 4 e 8. Sendo mais elevados nos perfis P1, P2 e P5, e mínimos nos perfis P3 e P4 (Figura 175), onde está localizada a depressão da lagoa do Saputá. Já os valores de pH em KCl são os mais baixos, variando entre 3 e 5, possuindo os valores mais baixos também entre P3 e P4, sendo mais elevados no P1.

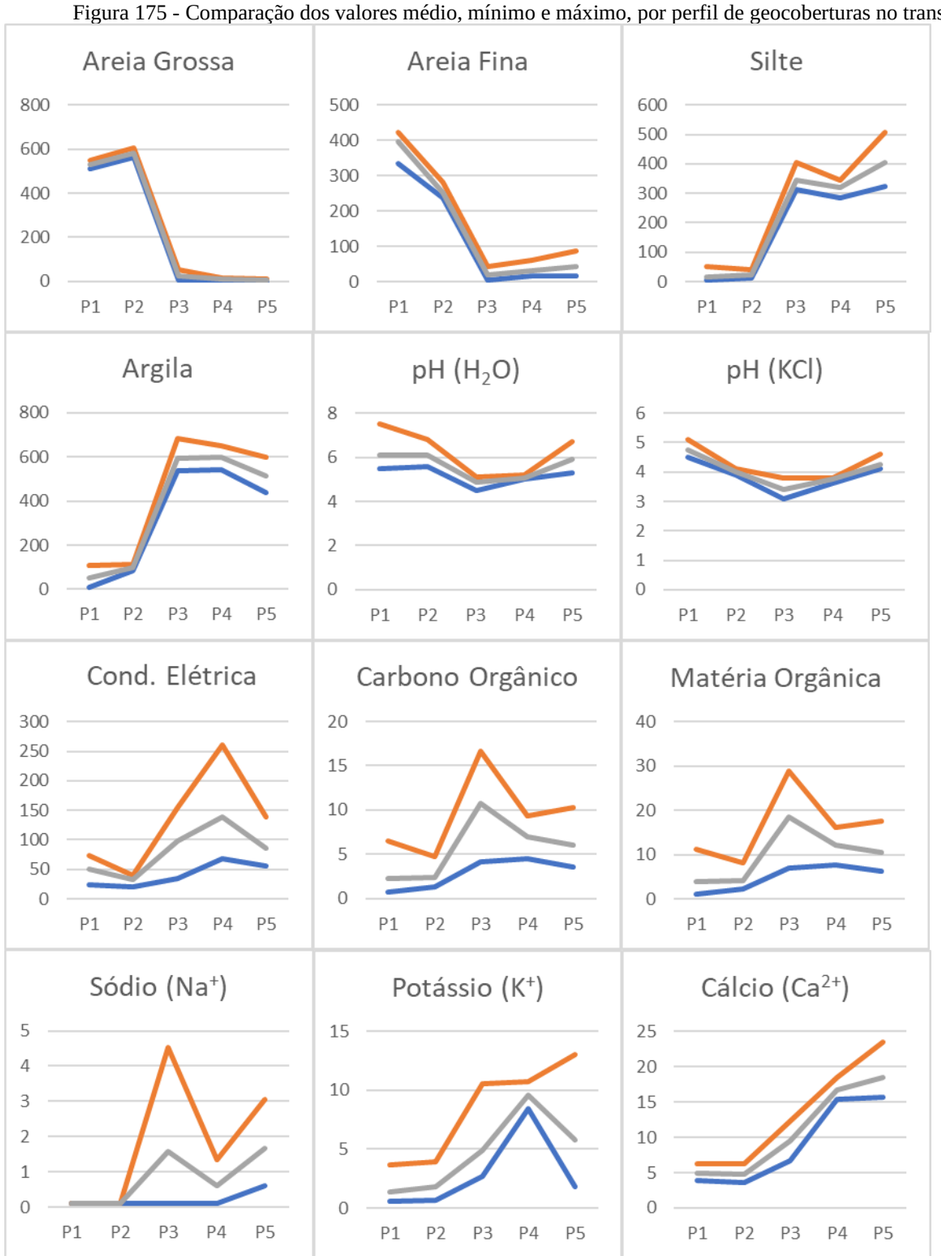
A CE possui seu máximo valor no P4, ponto mais baixo da depressão na lagoa, onde atinge 250 µS (Figura 175). Os menores valores estão nos perfis P1 e P2, colaborando para diferenciar este transecto em dois ambientes, o drenado e o sujeito à inundação não apenas por dados físicos de tamanho de partícula, mas também quanto às propriedades químicas destes materiais.

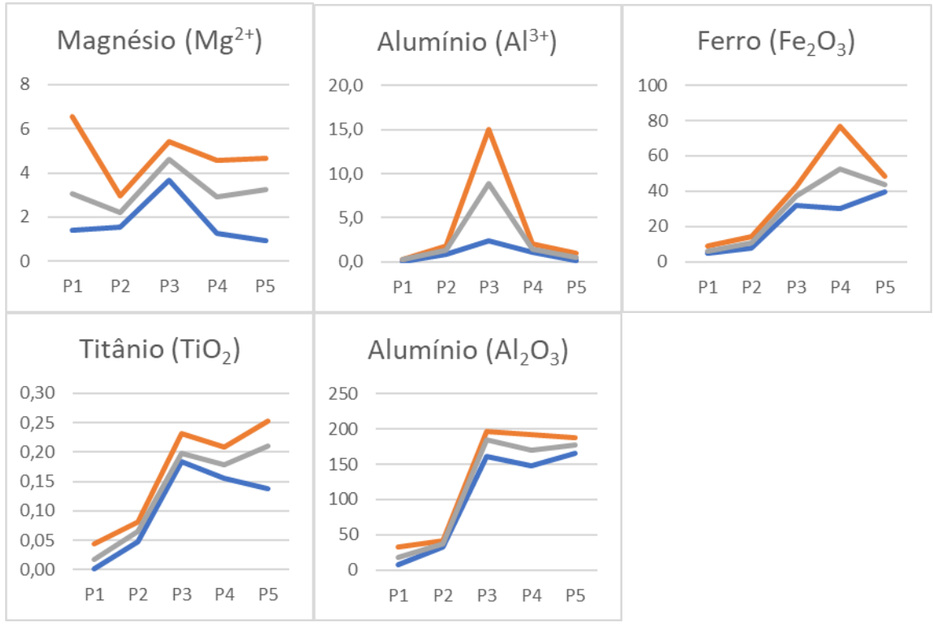
Os valores de CO e MO podem estar vinculados à presença de vegetação, sendo maior no P3, próximo às margens da lagoa, onde há maior densidade e porte da vegetação (Figura 163). No perfil P2, a quantidade de vegetação é bem menor, sendo uma área que corresponde às margens mais altas da lagoa. Contudo, os valores médios de P1 e P2 são muito semelhantes, e nos perfis P4 e P5, os valores médios também são superiores ao ambiente drenado (Figura 175).

Os cátions trocáveis também tendem a estar em maior quantidade no ambiente que recebe mais umidade, como no Na, K, Ca e Al, possuindo valores mínimos nos perfis drenados e valores máximos nos perfis do ambiente úmido, com cada elemento mais concentrado em um perfil diferente (Figura 175).

O único cátion trocável que possui comportamento diferente é o Mg, que possui valor máximo no P1 e valor mínimo no P5. Contudo, os valores médios tendem ser mais elevados no ambiente úmido. Os óxidos, Fe, Ti e Al também estão mais concentrados no ambiente úmido em comparação com os perfis drenados (Figura 175).

Figura 175 - Comparação dos valores médio, mínimo e máximo, por perfil de geocoberturas no transecto T5w.





Legenda:
P1: Perfil 1
P2: Perfil 2
P3: Perfil 3
P4: Perfil 4
P5: Perfil 5

Unidades de medida	
Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila:	g/cm^{-3}
Condutividade elétrica:	µS
Carbono orgânico e matéria orgânica:	g/kg
Cátions trocáveis: Sódio (Na^{+}), Potássio (K^{+}), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}):	$cmolc/dm^{-3}$
Óxidos: Ferro (Fe_2O_3), Titânio (TiO_2) e Alumínio (Al_2O_3):	g/kg^{-1}
Valor mínimo:	
Valor médio:	
Valor máximo:	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Na figura 176 estão representados todos os valores normalizados dos resultados das análises das geocoberturas realizadas nas amostras do T5w. Neste transecto fica evidente a separação em 2 grupos: perfil P1 e P2, e outro grupo nos perfis P3, P4 e P5. No primeiro grupo, a textura predominante é arenosa, com valor médio de 880,04 g/cm^{-3}, principalmente de areia grossa, sendo que no P2 existe uma composição maior de argila.

Os valores de CO e MO são mais baixos neste grupo, com média de 2,35 g/kg e 4,02 g/kg, respectivamente, sendo que há também uma escassez generalizada de Na^{+} em todos os perfis, com valor médio de 0,82 cmolc/dm^{-3} além de K^{+}, Al^{3+} e valores muito baixos de óxido de Ti, com valores médios de 1,58 cmolc/dm^{-3}, e 0,81 cmolc/dm^{-3} e 0,04 g/kg^{-1}, respectivamente. Os valores de óxidos de Fe e Al são inferiores aos valores encontrados no outro grupo, com média de 8,44 g/kg^{-1} e 27,65 g/kg^{-1}, respectivamente.

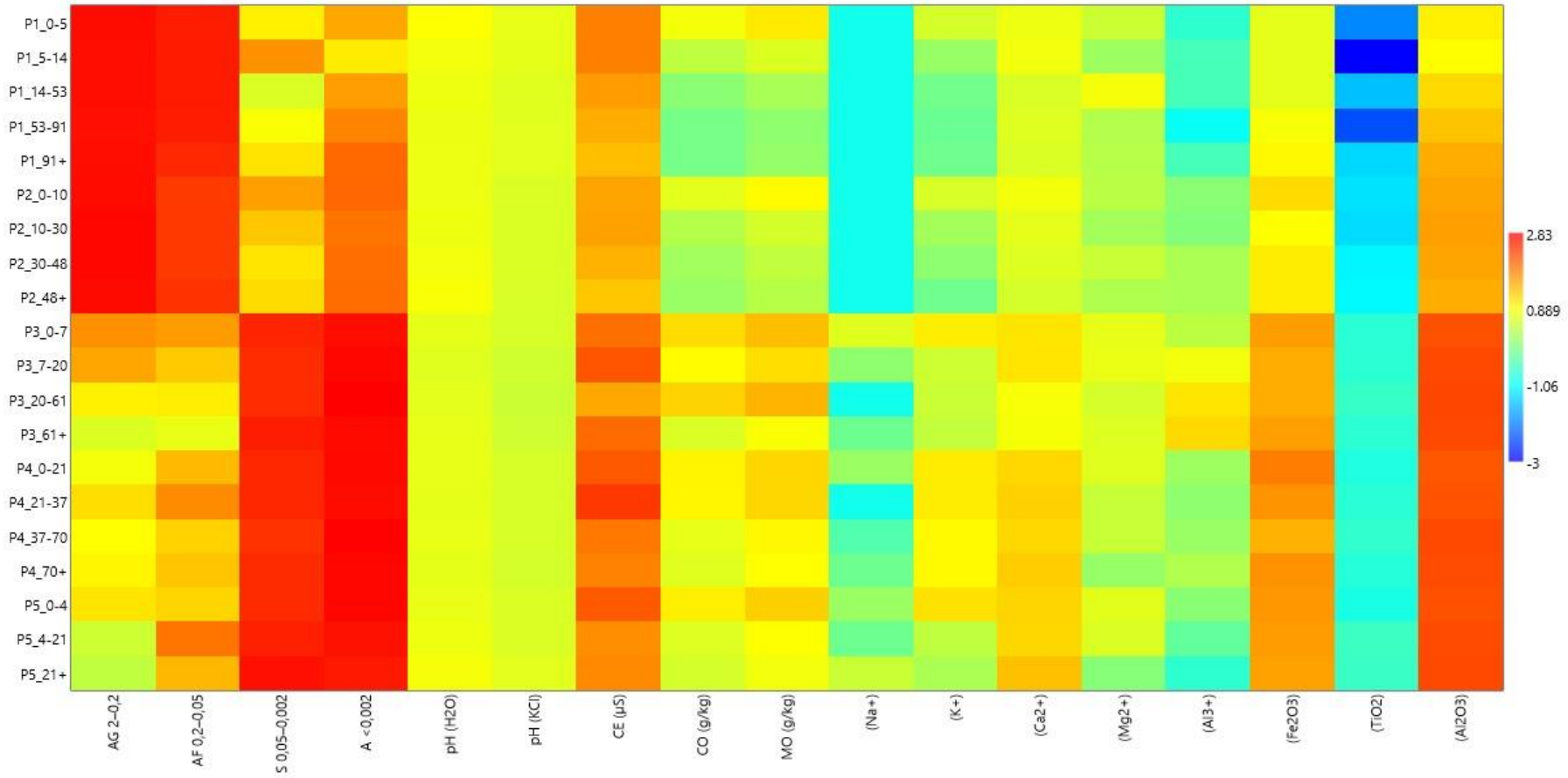
O grupo 2, composto pelos perfis P3, P4 e P5 é caracterizado principalmente pela textura argilosa, com valor médio de 568,53 g/cm^{-3} maiores valores de CE, registrando média de 107,07 µS, e óxidos de Fe e principalmente de Al, com média de 44,55 g/kg^{-1} e 177,37 g/kg^{-1}, respectivamente. No perfil 3 existe um maior valor de MO e CO, com média de 13,7 g/kg e 7,95 g/kg, respectivamente, e no perfil P4 e P5 os valores de Ca^{2+} são mais elevados do que nos demais perfis, com média de 17,59 cmolc/dm^{-3}.

Neste gráfico (Figura 176), os parâmetros físicos de tamanho da partícula são úteis para delimitar os grupos de ambientes, que reúnem os perfis mais semelhantes. Mas também alguns parâmetros químicos, como os óxidos de Fe e Al, que se tornam muito mais abundantes no ambiente úmido, além dos cátions trocáveis como Ca, K e Na, que menos desiguais, devido à sua baixa disponibilidade, apresentam uma maior disponibilidade relativa também no meio úmido.

Os valores de óxido de Ti são praticamente inexistentes em todos os perfis. Naqueles drenados, também podem ser caracterizados pela ausência dos cátions trocáveis Na e Al. Os resultados de CO e MO também se mostraram mais abundantes no meio úmido. Já a CE, apesar de mostrar pouca diferença de distribuição entre os perfis, tende a apresentar discreto aumento no meio úmido.

Assim este transecto pode ser associado, quanto à existência de diferentes ambientes, aos transectos T1w e T2w mais diretamente, no que se refere a existência de um ambiente mais úmido, que apresenta maiores valores de CE, CO e MO, cátions trocáveis como Na, K, Ca e Al e óxidos, principalmente Fe e Al, além de possuírem maior teor de argila e silte. O meio drenado tende a possuir maior teor de areia.

Figura 176 - Comparação dos valores das análises realizadas nos perfis do transecto T5w.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.3.6.3. Análise da subsuperfície da subunidade P4 – Foz do rio Pandeiros e Sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco - com GPR e eletrorresistividade

O transecto T3 de GPR e eletrorresistividade, representando a subunidade P4 do PRP está apresentado na figura 177. A aquisição dos dados segue o mesmo modo dos demais, com uma aquisição de levantamento por todo o transecto tendo a direção NE-SW por aproximadamente 1,6 km, seguido por outro levantamento em maio de 2019 para nova aquisição em área de detalhe e com levantamento de dados de eletrorresistividade no local.

Sua localização parte da parte alta da vertente e segue em direção à lagoa do Saputá, que é temporária, mas tem uma dinâmica muito ativa, sendo inundada completamente todos os anos durante a estação úmida, quando o nível do rio São Francisco aumenta e inverte o fluxo do rio Pandeiros.

A análise da subsuperfície de uma vertente da subunidade P4 foi realizada próximo às margens da lagoa do Saputá, que atualmente é temporária e apresenta a forma de um meandro do rio Pandeiros. Como já foi caracterizado, nesta vertente, há grande diferenciação das geocoberturas superficiais, que são predominantemente arenosos na porção alta da vertente, passando a predominantemente muito argilosos na parte baixa, onde está a lagoa.

Na data em que o levantamento de dados foi realizado, uma parte desta lagoa ainda permanecia com água, em maio de 2019. Foram aplicadas duas técnicas de geofísica no transecto, que tem a direção partindo do norte até o sul. O levantamento de GPR foi realizado até as margens da lagoa nesta data e o levantamento da eletrorresistividade seguiu até uma pequena elevação em direção ao interior da lagoa. A localização está no inferior da figura 177.

Nesta imagem está localizado também o local onde foi feita a tradagem. O perfil com a descrição das principais morfologias também está no canto inferior direito da figura 177. Este perfil é muito homogêneo e foram coletados materiais até 395 cm de profundidade, onde a água aflorou. A matriz arenosa é predominante, havendo a ocorrência de manchas a partir de 257 cm. A partir de 319 cm, passam a ocorrer seixos no perfil, alguns poucos, mas com grande diâmetro, de até 5 cm. Também a partir desta profundidade surgem vários outros seixos menores, com até 1 cm de diâmetro.

Na parte superior da figura 177 estão as imagens que representam os dados resultantes do levantamento de eletrorresistividade e abaixo, o radargrama deste local. Os resultados da eletrorresistividade estão no intervalo mínimo de 12,3 ohm.m até o valor máximo de 3.526

ohm.m. Estes valores obtidos foram comparados com os valores de resistividade comuns de materiais geológicos, conforme Reynolds (2011) e Anjos (2019).

Apesar de haver uma grande variação nos valores de resistividade elétrica dos materiais, as características de porosidade e permeabilidade são importantes a se observar, pois pode ocorrer saturação de água no meio, tornando o valor da resistividade menor em meio saturado e mais elevado em meio não saturado, conforme classificação utilizada por Anjos (2019). Assim, os valores entre 10^1 e 10^2 estão associados a maior umidade, podendo estar saturados. Os valores entre 10^2 e 10^3 estão associados a zona não saturada.

Os resultados da eletrorresistividade foram classificados em feições FA, FB, FC, FD, FE, FF, FG e FH. Neste transecto, que possui 315 metros de aquisição de dados, as feições FA e FE, apresentadas entre 30 m a 230 m de distância, entre 30 m a 50 m e entre 60 m a 190 m entre uma profundidade que sai da superfície até a profundidade inferior a 15 m, está sendo interpretada como uma feição de material não saturado e sua composição como solo arenoso seco, cujos valores de referência vão de 80 a 1050 ohm.m (REYNOLDS, 2011) e depósitos arenosos recentes, com valor de referência entre 10^1 até 10^3 ohm.m (ANJOS, 2019).

As áreas com valores de resistividade mais elevados, entre 30 m e 50 m e em subsuperfície entre 160 m e 200 m de distância, se destacam no transecto, principalmente a área entre 160 m e 180 m, que pode se constituir em algum material de grande volume e mais impermeável, pois os dados indicam que este material chega a influenciar a posição do nível freático local (feição FC).

A feição FB caracteriza-se como a mais próxima da superfície e entre 60 m até 120 m de distância, ela apresenta mais umidade. Entre 120 m e 145 m, o material indica estar mais drenado. Comparando-se os dados de eletrorresistividade com os materiais coletados na tradagem (TR5), identifica-se como um sedimento arenoso inconsolidado, com diferentes graus de umidade.

A feição FD, entre 145 m e 200 m de distância, destaca-se por estar próxima a superfície, mas apresenta valores mais reduzidos, em relação a FB e o início de FA, entre 30 m e 50 m. Foi nesta feição que se procedeu a tradagem para coleta de material, até 395 cm de profundidade, onde os valores de resistividade são próximos a 699 ohm.m indicando o tipo de material sedimentar. Em 180 m, parece haver uma superfície com redução da resistividade, o que pode indicar uma área mais úmida. Ela está separada da área inundada, superficialmente, pela feição FE. As feições FF e FG representam áreas de transição entre os meios saturados e

não saturados. Esta informação se deve a área em superfície entre 210 m e 225 m de distância e a partir de 280 m de distância, pois eram as margens da lagoa naquela data.

Em superfície, estas áreas ocorrem novamente em FB, entre 60 m e 70 m, 90 m a 100 m e em FD, entre 165 m e 200 m de distância. Em profundidade, ela se estende em FF e FD e marca a transição das demais feições para FC. A pequena mancha de FH representa uma pequena área que estava drenada na data de aquisição dos dados. Nas feições FF, FG e FH, em superfície, a textura já é predominantemente muito argilosa, em oposição ao que ocorre em FD.

A feição FG representa a área alagada da lagoa do Saputá na data de aquisição dos dados, entre 225 m e 280 m de distância. É interessante notar que esta feição vai se estreitando e deslocando-se em profundidade, para o sul, que é a direção da área central da lagoa.

A feição FC marca uma zona em maior profundidade que indica estar saturada, abaixo de 25 m de profundidade. Isto pode indicar tratar-se do nível freático local, podendo também estar conectado ao canal do rio São Francisco, que está distante cerca de 2 km deste local. Esta superfície parece ser bastante homogênea, estando separada, contudo, por um material bastante diferente, entre 160 m e 200 m de distância, que alcança em profundidade, um alto valor de resistividade, acima de 1.570 ohm.m, chegando a alterar este nível na feição FC, interpretada aqui como uma superfície saturada.

Por meio dos dados de eletrorresistividade, então, conclui-se que as feições FA, FB, FD e FE, em superfície, são formadas por material arenoso, e em profundidade não indicam estar saturadas. Elas marcam uma porção da vertente que sofre transição de tipo de material e umidade, em FF, chegando em FG e FH com uma textura muito argilosa e neste período, saturada. O nível freático local é interpretado como a feição FC, localizado em mais de 25 m de profundidade.

Além dos dados de resistividade, é apresentado também o radargrama deste transecto. Contudo, este levantamento foi realizado somente até as margens da lagoa, possuindo 240 m de distância. Os dados foram coletados utilizando antena de 100 Mhz, estando neste caso corrigidos pela topografia, devido ao relevo ser mais inclinado nesta vertente. No radargrama, foram identificadas 7 feições: F1 a F7.

O local onde foi realizada a tradagem está assinalado como TR5. Como a profundidade de coleta do material é pequena em relação à profundidade demonstrada no radargrama, a interpretação por correlação com os materiais coletados fica restrita à feição F2 e no máximo alcançam o topo da feição F3.

No radargrama também foi indicado a transição da feição FC, interpretada pela imagem de resistividade, e que pode indicar o nível freático local. Também foi indicada a localização onde aflorou água na tradagem TR5, entre 150 m e 160 m de distância, esta parte, pode estar correlacionada a feição FD da imagem de resistividade, que indica uma zona mais saturada.

A feição F1, como já abordada nas demais subunidades refletem um ruído no sinal de GPR, e não será interpretada. A feição F2, primeira superfície identificada na vertente, está bem delimitada entre 0 e 90 m de distância. No intervalo entre 85 m e 140 m de distância, o sinal de GPR não permitiu a completa diferenciação entre as feições. A identificação e delimitação de F2 e as demais feições retorna a partir de 140 m.

Devido a tradagem TR5, foi possível identificar o material desta feição como matriz arenosa predominantemente homogênea. O perfil de F2 é muito homogêneo. Contudo, no final da amostragem, a partir de 300 cm de profundidade, começam a ocorrer alguns poucos seixos, contudo eles são grandes, com até 5 cm de diâmetro, os quais poderiam ser os constituintes da feição F3, apesar de a tradagem não ter alcançado completamente esta feição.

A feição F3 possui comportamento e distribuição muito similar a F2, sendo mais delgada. Contudo, enquanto F2 possui cerca de 2 m de espessura, F3 é inferior a 2 m na parte do transecto. O mesmo ocorre com as feições F4, F5 e F6, no intervalo de distância entre 0 e 80 m, considerando que a feição F5 também é muito delgada, semelhante a F3. Já as feições F4 e F6 são mais espessas, semelhante a F2.

A partir de 12 m de profundidade, ocorre a feição F7, onde grande parte do sinal das antenas de GPR não permite a identificação da estrutura dos materiais em subsuperfície. Contudo, correlacionando as feições do perfil de eletrorresistividade com o radargrama, é possível inferir algumas estruturas, correlacionadas com a feição FA, de resistividade, na feição F7 do radargrama, como pode ser observado entre 30 m e 70 m de distância, abaixo de 400 cm.

Já na distância entre 90 m e 130 m de distância a separação de feições é muito comprometida, não havendo forte sinal para individualizá-los. Contudo, neste espaço, parecem ocorrer estruturas mais inclinadas até entre 407 m e 399 m, onde foi possível identificar algumas possíveis fraturas. Esta porção pode ser também correlacionada com a feição ao sul de FB da eletrorresistividade.

Outra forma interessante é que, a partir de F2, em profundidade, entre 80 m até 140 m, parecem ocorrer duas margens, em direção ao trecho de 100 m a 120 m de distância, centro de uma área mais baixa, em relação a estas formas, o que poderia ser caracterizado também como uma depressão, ou canal de drenagem. Entre 140 m e 170 m de distância, a superfície é muito

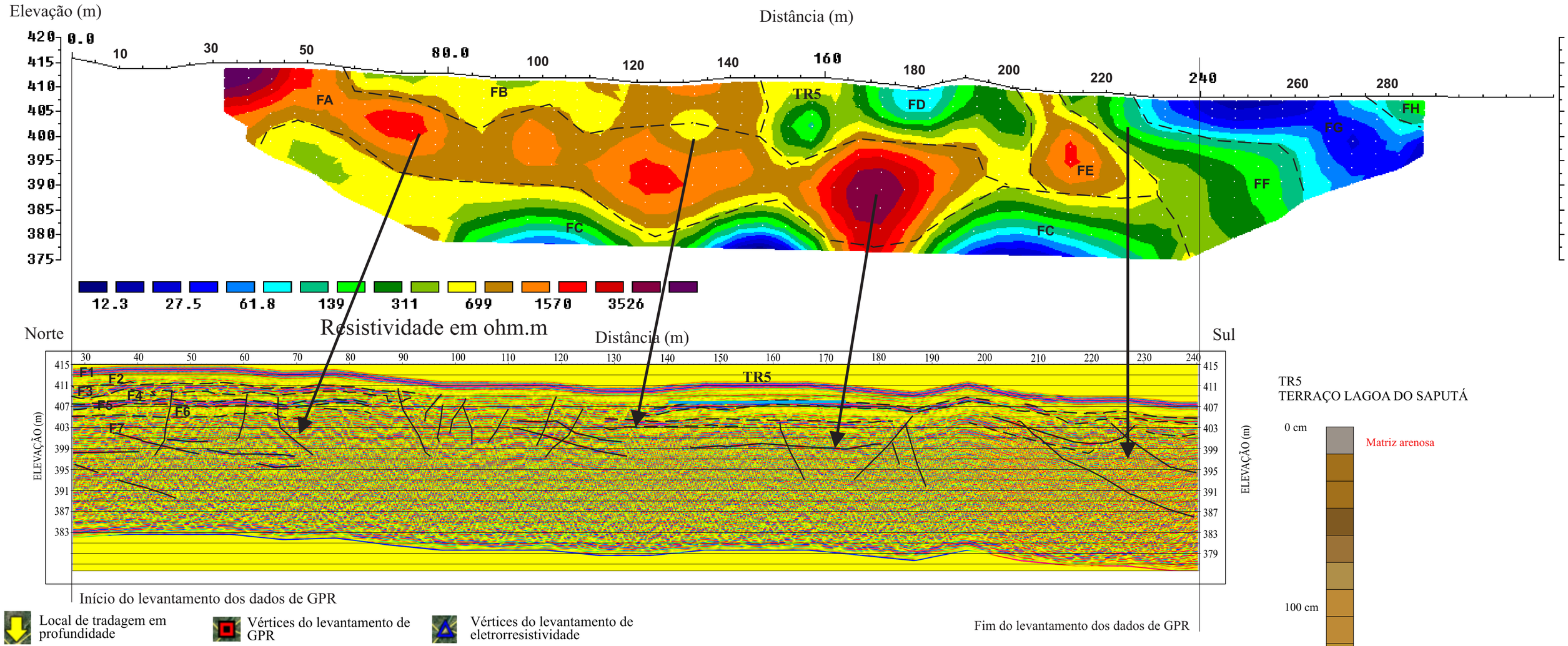
plana, apresentando-se como uma superfície de terraço entre esta área do possível paleocanal e as vertentes abruptas que marcam atualmente a planície de inundação do PRP e as margens da lagoa do Saputá. Durante as inundações de baixa e até média intensidade, as áreas até esta superfície ficam inundadas. Já durante as inundações de grande intensidade, a área até o início desta vertente investigada também fica completamente inundada.

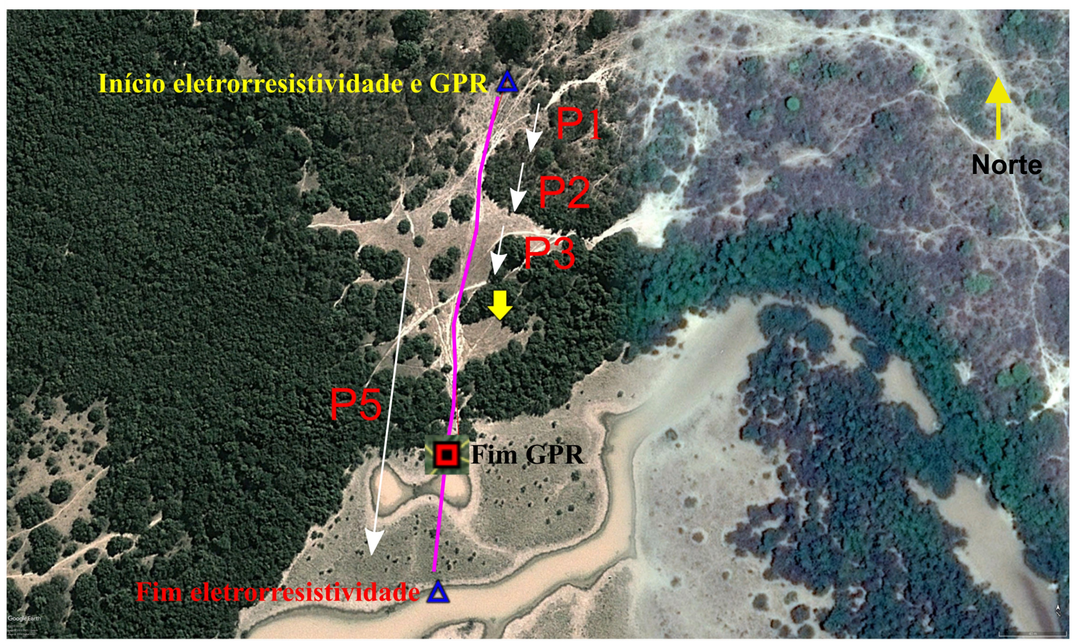
Assim como a partir de 145 m distância, ocorre a transição entre as feições FB e FD de eletrorresistividade, no radargrama, a partir de 140 m de distância, a individualização das feições correlacionadas a F2, F3, F4, F5, F6 e F7 se tornam possíveis, apesar de a feição F6 se tornar muito delgada, a partir de 150 m de distância na profundidade de 400 cm, não sendo mais possível individualizá-las de F7.

Ocorre outra perturbação, desta vez a partir de F4, entre 170 m e 190 m de distância e 400 cm, estando o sinal destacado como possível falha no radargrama, podendo corresponder ao sinal de maior resistividade da feição FA em profundidade. Nesta seção, a feição F5 e F6, sendo semelhante a F7, também são interrompidas.

A partir de 140 m de distância, os sinais que permitem individualizar algumas feições começam a retornar, principalmente em 200 m de distância, onde é possível identificar as feições F2, F3, F4 e F5, que mantém inclinação para sul. A partir de 210 m de distância os sinais abaixo de F3 começam novamente a não serem diferenciados, os quais poderiam corresponder à feição FE de eletrorresistividade.

Figura 177 - Radargrama e eletrorresistividade da subunidade P4: Sistema de lagoas marginais do rio São Francisco





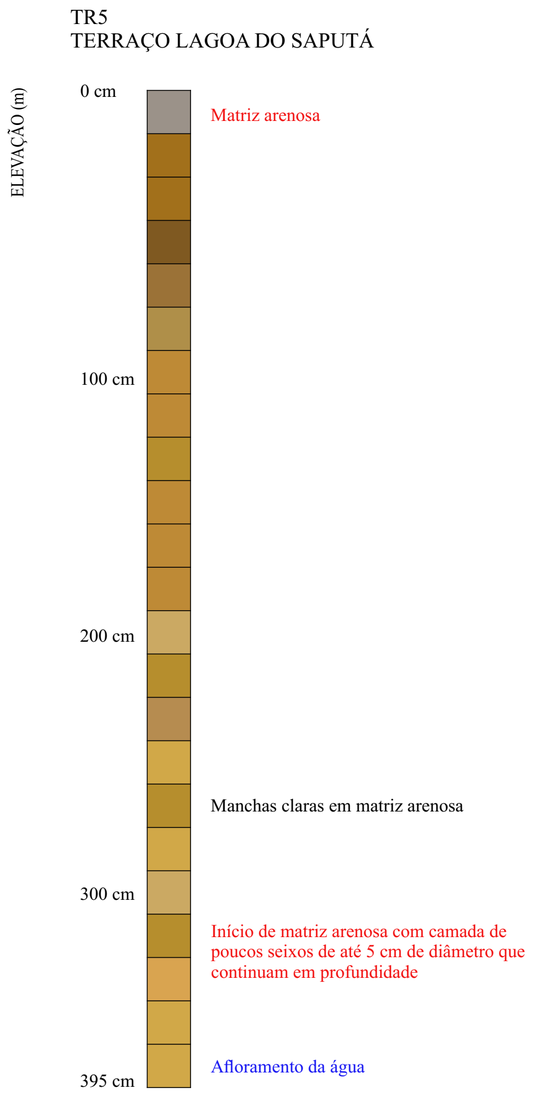
Nível freático no local da tradagem

Limite entre materiais inferido

Lineamentos e fraturas

TR5: local de tradagem em profundidade para coleta de amostras de geocoberturas

Para os resultados de eletrorresistividade:
Modelo de resistividade com topografia
Interation 4 erro RMS = 8,4
Espaçamento de cada unidade de eletrodo: 5 m.
A escala horizontal é de 20,40 pixels por unidade de espaçamento.
O exagero vertical na seção mostrada no modelo é de 1,05.
O 1º eletrodo estava localizado em 0 m.
O último eletrodo estava localizado em 315 m.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Radargrama e eletrorresistividade do transecto representativo da subunidade P4 - Sistema de lagoas marginais do rio São Francisco - e perfil Tr5 - Lagoa do Saputá.

5.3.7. Análise da distribuição longitudinal das geocoberturas no PRP

Após a análise dos resultados das geocoberturas em cada perfil, seguidas de sua distribuição em cada transecto, de modo lateral, da alta vertente até a planície de inundação, com exceção do transecto T2w, que já inicia na planície, é realizado neste tópico, a análise da distribuição dos atributos de modo longitudinal, de montante à jusante do PRP, como pode ser observado na figura 178. Esta análise foi realizada por meio da estatística descritiva com medidas de tendência central, sendo elas: a média de cada atributo a partir dos valores do transecto em análise, e o valor mínimo e o valor máximo de cada um, reunidos no gráfico de linhas representando os transectos na seguinte ordem: T1w, T2w, T3w, T4w e T5w. Os valores das estatísticas descritivas foram calculados no *software* PAST e os gráficos elaborados no software Excel (Figura 178).

Os valores de areia grossa têm um comportamento variável ao longo do PRP, em torno de 200 g/cm^{-3}, iniciando-se a partir de T1w em torno deste valor, reduzindo levemente em T2w, contudo, sofrendo grande aumento em T3w, para uma média acima de 400 g/cm^{-3} importando no maior valor encontrado nas análises (Figura 178). Após, o teor deste componente reduz em T4w e sofrendo leve aumento em T5w, também em torno da mesma média. Apesar do transecto T3w apresentar os maiores valores para este componente, há variações nos valores máximos, chegando a quase 800 g/cm^{-3} em T3w, mas apresentando valores máximos altos também em T2w, que apresenta, na média, o menor valor para este atributo (Figura 178).

Para o componente areia fina, os valores apresentam tendência de redução, com exceção em T4w, onde apresenta o maior valor médio, mínimo e máximo, sendo próximo a 1.000 g/cm^{-3} e em T5w apresenta uma grande redução, passando de um valor máximo próximo de 400 g/cm^{-3} chegando a uma média inferior a 200 g/cm^{-3} neste último transecto. Os valores máximos são muito semelhantes em T1w, T2w e T3w (Figura 178).

O teor de silte apresenta certa estabilidade nos valores médios em T1w, T2w e T5w entre 150 e 200 g/cm^{-3}, havendo redução em T3w e T4w para uma média inferior a 100 g/cm^{-3} (Figura 178). Já os valores máximos sofrem uma tendência de redução a partir de T1w, partindo de 400 g/cm^{-3} para até 200 g/cm^{-3} e em T5w sofrendo um aumento muito grande para até 500 g/cm^{-3}, sendo o valor médio também o mais elevado neste transecto (T5w), com valor acima de 200 g/cm^{-3} (Figura 178).

Já a argila tem um comportamento de grande variabilidade ao longo dos transectos, possuindo valor máximo em T2w, com quase 800 g/cm^{-3} e em seguida, em T5w, com valores acima de 600 g/cm^{-3} (Figura 178). Os valores máximos mais baixos estão em T3w e T4w, em

torno de 200 g/cm^{-3}. Contudo, os valores médios têm maior teor em T5w, com média próximo a 400 g/cm^{-3}, seguidos por T2w e depois T1w, mantendo o menor valor em T3w e T4w, abaixo de 200 g/cm^{-3} (Figura 178).

A análise da distribuição granulométrica destes materiais ao longo do PRP, apresenta o transecto com maior valor de areia, o T3w, que está situado em sua maior parte na vertente drenada da subunidade P2 do Médio Pantanal. Considerando-se nos demais transectos, o valor de areia grossa, estes podem ser considerados como bem distribuídos tem termos longitudinais (Figura 178).

Contudo, a distribuição de areia fina tende a se reduzir a jusante, com exceção do transecto T4w (Figura 178), no qual, ao redor, há registros de processos de avulsão de canais e um estreitamento do canal do PRP, devido à existência de um terraço, localizado sobre o transecto T4w, o que poderia levar a uma tendência de acumulação de material até este trecho.

Este argumento, pode auxiliar no entendimento do comportamento da distribuição do silte, que tem tendência decrescente até T4w, mas uma grande elevação em T5w (Figura 178). Já a distribuição da argila, apresenta grande composição no transecto T2w e T5w, os quais representam ambientes de acumulação de materiais, constituindo-se em lagoas temporárias, em grande parte de seus transectos, havendo grande redução de argila em T3w e T4w (Figura 178).

A distribuição dos valores de pH apresenta uma tendência praticamente contínua de redução de montante a jusante, em valores médios do pH em H_2O próximo a 6 e em pH em KCl, a partir de 6 para uma média próximo a 4 no transecto T5w (Figura 178). Também o valor da CE tende a apresentar uma redução a jusante em valores médios, a partir de quase 500 µS em média em T1w, e em valores máximos, partindo do valor máximo de quase 3.500 µS para uma queda próxima a 1.000 µS em T2w, com interrupção em T3w, chegando a um valor próximo de 2.500 µS e chegando a um valor abaixo de 500 µS em Tw5 (Figura 178).

Já os valores de CO e MO sofrem um aumento nos valores médios a partir de T1w até T2w, chegando a maior média para o CO em 100 g/kg e a partir daí sofrendo uma redução até T5w para valores muito baixos (Figura 178). Já os valores máximos chegam ao auge em T3w, com o valor do CO para próximo de 500 g/kg, de onde a partir daí sofrem abrupta redução (Figura 178).

A relação entre os valores em redução de pH e CE pode estar relacionada com a presença de MO nas geocoberturas, atingindo patamar médio em T1w e T2w, registrando o maior valor em T3w e a partir daí, sofrendo redução (Figura 178).

A distribuição dos cátions trocáveis apresenta, para cada elemento analisado, uma distribuição variada (Figura 178). O Na^+ tende a apresentar uma redução muito pequena ao longo dos transectos, mas os valores máximos apresentam-se mais elevados em T1w e T4w, e sendo inferiores em T3w. O K^+ apresenta variação em todo o perfil, oscilando entre valores médios altos e baixos. Já os valores máximos de K^+ estão no transecto T2w, e o menor valor em T3w, sendo os demais transectos distribuídos em diferentes oscilações, com exceção de que há um aumento de Na^+ e K^+ em T4w (Figura 178).

Os valores e Ca^{2+} apresentam tendência de redução ao longo do transecto, com o valor máximo em T1w, mas o valor médio superior está em T2w, oscilando para um aumento em T3w. Já os valores mínimos médio e máximo estão em T4w (Figura 178).

Ao longo do PRP a distribuição do Mg^{2+} é também diferente, apresentando valores superiores para a máxima e média em T2w, estabilizando-se em T3w e T4w, em valores semelhantes a T1w e sofrendo levemente aumento em T5w (Figura 178). O cátion trocável Al^{3+} apresenta um valor estável em todos os transectos, mas com uma grande elevação em T5w, com aumento do valor máximo muito superior a todos os demais.

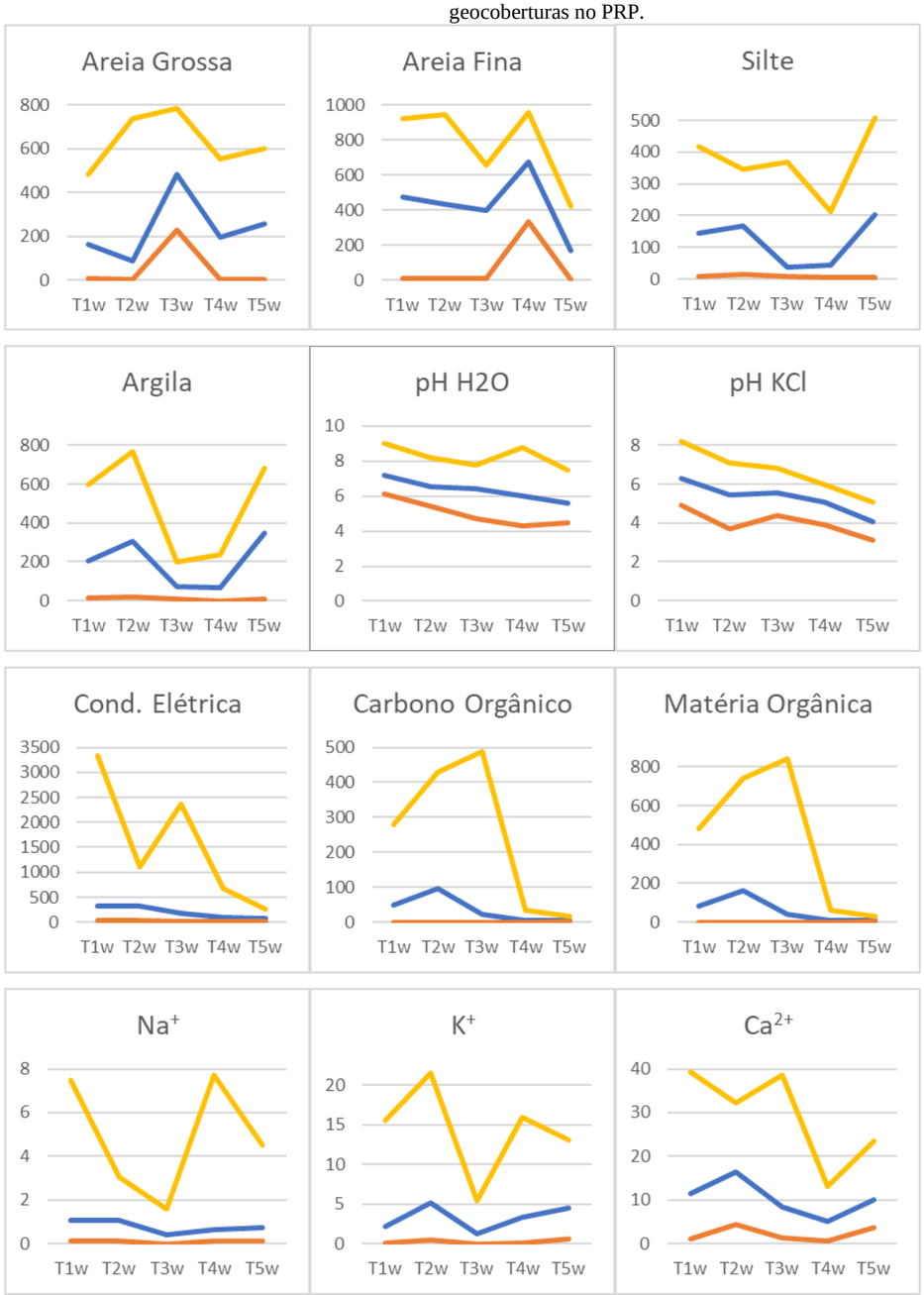
Por fim, o comportamento dos óxidos apresenta certa semelhança entre si, com uma elevação a partir de T1w, apresentando o valor superior para a mínima, média e máxima em T2w, estabilizando-se em T3w e T4w e sofrendo um aumento em T5w para o Fe_2O_3, TiO_2 e Al_2O_3 (Figura 178).

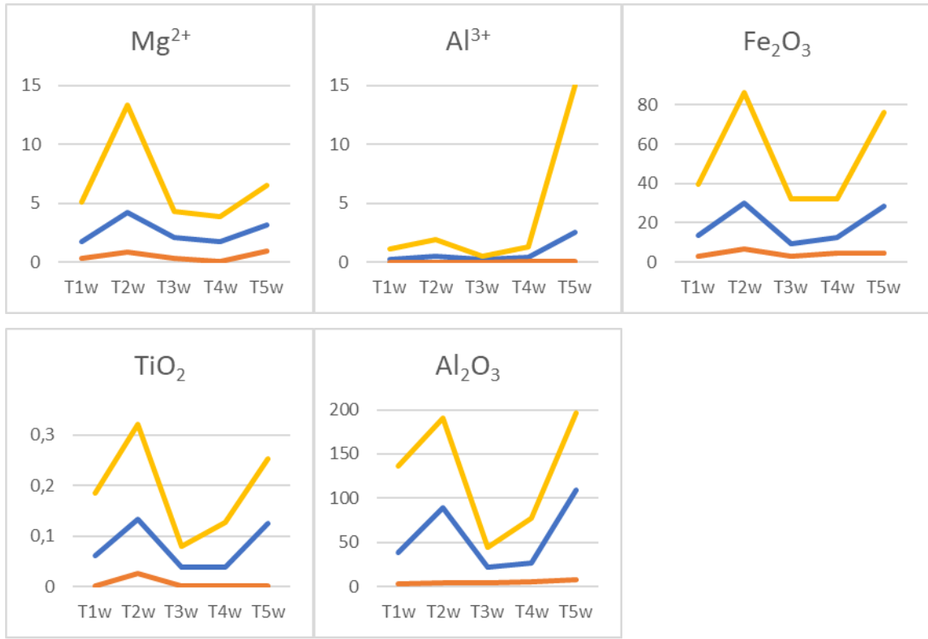
A distribuição dos cátions trocáveis sofre um aumento em T3w e T4w apenas para o Na^+, K^+ e Ca^{2+} (Figura 178). Neste transectos é registrado também um dos menores valores para os demais cátions trocáveis analisados: Mg^{2+} e Al^{3+}, além dos óxidos.

Nos transectos onde há ambientes de lagoas temporárias, podendo ser classificados como mais úmidos, devido à maior proximidade do nível freático próximo à superfície ao longo do ano, em muitos perfis, há um aumento no valor dos óxidos, dos cátions trocáveis Mg^{2+} e Al^{3+} (Figura 178).

Após a caracterização dos resultados obtidos por perfil, bem como sua comparação lateral por transecto e sua comparação longitudinal, foi realizada também uma análise geral das geocoberturas, por meio de técnicas estatísticas aplicadas para caracterizar seu comportamento de montante a jusante no PRP.

Figura 178 - Comparação de valores média, mínimo e máximo valores dos atributos analisados, por transectos, das geocoberturas no PRP.





Legenda:

T1w: Transecto subunidade P1, Alto Pantanal

T2w: Transecto subunidade P2, Médio Pantanal

T3w: Transecto subunidade P2, Médio Pantanal

T4w: Transecto subunidade P3, Baixo Pantanal

T5w: Transecto subunidade P4 Foz do rio Pandeiros e Sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco

Unidades de medida

Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila:	g/cm^{-3}
Condutividade elétrica:	µS
Carbono orgânico e matéria orgânica:	g/kg
Cátions trocáveis: Sódio (Na^{+}), Potássio (K^{+}), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Alumínio (Al^{3+}):	$cmolc/dm^{-3}$
Óxidos: Ferro (Fe_2O_3), Titânio (TiO_2) e Alumínio (Al_2O_3):	g/kg^{-1}
Valor mínimo:	
Valor médio:	
Valor máximo:	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Como os resultados das análises das geocoberturas são em valores métricos, considera-se que as variáveis em estudo são contínuas, obtidas em uma escala de razão constante, onde o valor 0, ou Ø (zero) representa ausência de quantidade. A exceção a este tipo de dado é a dos valores de pH, que podem ser consideradas variáveis em escala intervalar, onde mesmo possuindo uma escala de medida constante, o valor 0 não expressa a ausência de quantidade, conforme a classificação de Stevens (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Nos tópicos anteriores foi aplicada uma estatística descritiva univariada nos resultados e sua apresentação, na forma gráfica e de algumas medidas que resumem as medidas de cada perfil, quanto à sua posição ou localização em profundidade, bem como da sua variação ao longo de cada transecto, investigando seu comportamento lateral. Já neste tópico, é realizada uma análise da distribuição dos valores medidos nos perfis, para se obter sua dispersão, ou variabilidade, além da identificação de possíveis outliers longitudinalmente no PRP.

Os resultados das medidas de dispersão ou variabilidade, normalizados em log, foram analisados quanto ao coeficiente de variação, apresentado no quadro 20, sendo que quanto menor o valor (até 30%), mais homogêneos são os dados e os acima deste limite, são considerados heterogêneos (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Por essa classificação, observou-se que os valores das geocoberturas foram predominantemente heterogêneos, como os de CO e os de cátions livres, como Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+} e o Al^{3+}. Os atributos que apresentaram homogeneidade foram a areia fina, argila, pH (H_2O) e em KCl e a CE.

Segundo os dados para o Segundo coeficiente de assimetria de Pearson (Quadro 20), que se referem à forma da curva da distribuição de frequências, é possível verificar que não existem variáveis com assimetria fraca, que ocorre quando os valores estão entre 0 e 0,15 (FÁVERO e BELFIORE, 2017, p. 64). Contudo, existem vários atributos com assimetria forte, cujo valor é superior a 1, como, por exemplo: areia fina, Al^{3+} e o TiO_2. As demais variáveis são consideradas como assimetria moderada, cujos valores oscilam entre 0,15 e 1. Dentre estes valores, os mais baixos, e próximos a assimetria fraca (FÁVERO e BELFIORE, 2017, p. 64), são o pH (H_20), o Na^{+}, e o Al_2O_3.

Para os valores da curtose (Quadro 20) que caracteriza o grau de achatamento da distribuição de frequências em relação à uma distribuição normal, não há atributos com a curva mesocúrtica, ou seja, igual a uma curva de distribuição normal, sendo caracterizada pelo valor de 0,263 (FÁVERO e BELFIORE, 2017, p. 67). Neste caso, apenas a areia fina tem um valor de 0,300, próximo a este. Já os atributos que possuem uma curva platicúrtica, cujo valor é

superior a 0,263, significando uma curva mais achatada do que a curva normal, são: argila, CE, Na^{+}, K^{+}, Mg^{2+} e o Al^{3+} e TiO_2. Já os atributos com curva leptocúrtica, cujos valores são inferiores a 0,263 representam distribuição de frequência mais alongada que a curva normal (FÁVERO e BELFIORE, 2017, p. 67).

As análises descritivas bivariadas, constituem-se no estudo das relações entre duas variáveis, por meio da distribuição conjunta de frequências, medida por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Os valores ficam expressos entre -1 e 1, sendo que o valor 0 representa que não há correlação, e os valores próximos a -1 ou 1 estão mais correlacionados, positiva ou negativamente (FÁVERO e BELFIORE, 2017, p. 118). Os resultados da aplicação da correlação para os dados deste trabalho estão apresentados no quadro 21.

Pelos resultados, nota-se que ocorrem fortes correlações positivas, entre alguns dos atributos físicos e químicos, como o silte, que possui forte correlação positiva entre a argila e os óxidos de Fe_2O_3 (correlação de +0,723) e Al_2O_3 (correlação de +0,848). Os valores de pH estão correlacionados com a CE (+0,147 para pH em H_2O e +0,343 para pH em KCl) e com o CO e a MO (-0,121 e -0,122, respectivamente, para o pH em H_2O e +0,054 e +0,051para o pH em KCl). Já o CO e a MO possuem correlação positiva forte com o cátion trocável do Ca^{2+} (+0,744 e +0,745, respectivamente). Os óxidos também possuem correlação entre si: o Fe_2O_3 com o Al_2O_3 (+0,799) e o TiO_2 com o Al_2O_3 (+0,733).

Já as correlações negativas fortes estão muito vinculadas com a presença de areia fina e vários outros atributos: silte (-0,61), argila (-0,741), CE (-0,461), CO (-0,586), MO (-0,587), os cátions trocáveis Na^{+} (-0,517) e Ca^{2+} (-0,646), além dos óxidos Fe_2O_3 (-0,581) e Al_2O_3 (-0,711). Também há correlação negativa entre a areia grossa e o silte (-0,587) e o óxido de Fe_2O_3 (-0,552) e correlação entre o pH (H_2O e KCl) em relação ao cátion trocável do Al^{3+} (-0,482 e -0,614, respectivamente).

Quadro 20 - Valores das medidas de estatística descritiva univariada, a partir dos resultados em log para todos os transectos do PRP.

Variável	Total de amostras	Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo	Assimetria	Curtose
Areia Grossa	113	2,014	0,748	37,160	0,398	1,309	2,378	2,670	2,896	-0,550	-1,170
Areia Fina	113	2,402	0,594	24,730	0,732	2,116	2,635	2,819	2,982	-1,220	0,300
Silte	113	1,691	0,568	33,570	0,613	1,223	1,593	2,311	2,706	0,310	-1,250
Argila	113	1,954	0,567	29,000	-0,222	1,630	1,887	2,386	2,885	-0,490	1,110
pH (H_2O)	115	0,799	0,067	8,420	0,633	0,763	0,799	0,839	0,954	-0,170	0,060
pH (KCl)	115	0,719	0,085	11,760	0,491	0,663	0,732	0,778	0,914	-0,310	-0,070
C.E.	115	1,981	0,454	22,940	1,146	1,665	1,868	2,191	3,524	0,990	0,920
C.O.	115	0,629	0,826	131,360	-1,000	0,041	0,556	1,090	2,687	0,710	0,070
M.O.	115	0,863	0,827	95,810	-0,699	0,279	0,792	1,326	2,924	0,720	0,040
Na^+	115	-0,486	0,576	-118,410	-3,000	-0,914	-0,914	0,042	0,887	-0,170	1,830
K^+	115	0,060	0,675	1133,630	-3,000	-0,302	0,027	0,505	1,331	-0,690	2,480
Ca^{2+}	115	0,843	0,384	45,610	-0,222	0,628	0,785	1,189	1,596	-0,260	0,100
Mg^{2+}	115	0,285	0,334	117,360	-1,000	0,098	0,342	0,491	1,126	-0,840	1,650
Al^{3+}	115	-0,602	0,761	-126,360	-3,000	-0,699	-0,523	-0,301	1,176	-1,830	4,990
Fe_2O_3	114	1,085	0,355	32,700	0,463	0,831	1,027	1,392	1,935	0,440	-0,650
TiO_2	114	-1,419	0,605	-42,610	-3,000	-1,699	-1,268	-1,013	-0,494	-1,040	0,850
Al_2O_3	114	1,475	0,462	31,300	0,477	1,176	1,406	1,844	2,294	0,200	-0,660

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Quadro 21 - Valores de correlação de Pearson, a partir dos resultados em log para todos os transectos do PRP.

	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	pH (H_2O)	pH (KCl)	C.E.	C.O.	M.O.	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	Fe_2O_3	TiO_2
Areia Fina	0,108															
Silte	-0,587	-0,61														
Argila	-0,238	-0,741	0,748													
pH (H_2O)	-0,032	0,182	-0,028	-0,228												
pH (KCl)	0,1	0,238	-0,086	-0,255	0,778											
C.E.	-0,067	-0,461	0,499	0,429	0,147	0,343										
C.O.	0,086	-0,586	0,506	0,586	-0,121	0,054	0,757									
M.O.	0,087	-0,587	0,507	0,586	-0,122	0,051	0,757	1								
Na^+	-0,338	-0,517	0,646	0,548	0,134	0,219	0,561	0,532	0,531							
K^+	-0,196	-0,409	0,483	0,495	-0,17	-0,24	0,496	0,55	0,55	0,345						
Ca^{2+}	-0,173	-0,646	0,701	0,639	0,048	0,124	0,721	0,744	0,745	0,635	0,503					
Mg^{2+}	-0,128	-0,378	0,278	0,272	-0,035	-0,15	0,09	0,199	0,201	0,335	0,224	0,344				
Al^{3+}	-0,097	-0,228	0,097	0,202	-0,482	-0,614	-0,121	0,084	0,088	-0,141	0,153	0,005	0,166			
Fe_2O_3	-0,552	-0,581	0,743	0,723	-0,246	-0,308	0,398	0,405	0,405	0,517	0,581	0,56	0,243	0,17		
TiO_2	-0,395	-0,404	0,52	0,561	-0,176	-0,294	0,23	0,237	0,236	0,313	0,416	0,341	0,182	0,121	0,705	
Al_2O_3	-0,363	-0,711	0,743	0,848	-0,324	-0,395	0,35	0,471	0,472	0,49	0,523	0,595	0,257	0,247	0,799	0,733

Em vermelho estão as maiores correlações positivas e em verde estão as maiores correlações negativas.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Após a análise de correlação, foi realizada também a análise multivariada exploratória dos resultados das geocoberturas, que pode ser utilizada para verificar a existência de similaridades entre mais de duas variáveis por meio da classificação dos dados e variáveis, colaborando para o diagnóstico acerca do comportamento dos dados. Neste caso, foi utilizada a análise fatorial por componentes principais, do *software* IBM SPSS (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

A análise fatorial foi utilizada neste caso para entender o comportamento das variáveis originais métricas de forma não hierárquica. O objetivo final da análise fatorial é a identificação de correlações entre variáveis originais para a criação de fatores que representam sua combinação, promovendo uma redução ou simplificação estrutural (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

A partir dos altos coeficientes identificados pela correlação de Pearson (Quadro 21), foi realizado o teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) aplicado para todos dados (FÁVERO e BELFIORE, 2017). Ele fornece a proporção de variância que é considerada comum a todas as variáveis em análise e que pode ser vinculada à existência de um fator em comum. De acordo com o método, os resultados variam de 0 a 1, sendo que valores próximos a 1 indicam que há um percentual de variância elevado, correspondente a uma correlação de Pearson alta. O valor obtido para os dados aqui analisado foi de 0,843, o que indicaria, uma boa adequação global de análise fatorial (FÁVERO e BELFIORE, 2017).

Além do teste KMO foi utilizado também o teste de Esfericidade de Barlett's (FÁVERO e BELFIORE, 2017) cujo valor de $X^2_{Bartlett}$ foi de 2.271,891 para 136 graus de liberdade. Assim, a significância de $X^2_{Bartlett}$ resulta no valor de 0, valor este calculado pela função DIST.QUI no software Excel. Este resultado, que é < 0,05 para 136 graus de liberdade, permite concluir que a análise fatorial é adequada, pois com o nível de significância de 5% e com base nas hipóteses do teste de esfericidade de Bartlett, fica rejeitada a condição que a matriz de correlações de Pearson seja igual a uma matriz de identidade de mesma dimensão. (ANDRADE *et al.*, 2010; FÁVERO e BELFIORE, 2017).

O quadro 22 apresenta os dezessete autovalores da matriz de correlações ρ correspondentes aos valores de cada fator extraído inicialmente, seguido dos percentuais respectivos de variância compartilhada pelas variáveis originais.

Quadro 22 - Autovalores e variância compartilhada pelas variáveis originais para a formação de cada fator.

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	7,521	44,239	44,239	7,521	44,239	44,239
2	2,882	16,954	61,193	2,882	16,954	61,193
3	1,8	10,587	71,78	1,8	10,587	71,78
4	1,005	5,909	77,689	1,005	5,909	77,689
5	0,748	4,399	82,088			
6	0,669	3,938	86,026			
7	0,513	3,016	89,042			
8	0,386	2,273	91,315			
9	0,316	1,859	93,174			
10	0,284	1,67	94,844			
11	0,222	1,304	96,148			
12	0,185	1,088	97,236			
13	0,169	0,992	98,229			
14	0,113	0,665	98,894			
15	0,097	0,571	99,465			
16	0,091	0,534	99,999			
17	0	0,001	100			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Foram extraídos para análise apenas os autovalores superiores a 1, os quais estão apresentados na parte direita do quadro 22, que mostra também o percentual de variância compartilhada pelas variáveis originais para a formação apenas desses fatores. Assim, 44,239% da variância total são compartilhados para formação do primeiro fator, 16,954% são compartilhados para formar o segundo fator, 10,587% são compartilhados para formar o terceiro fator e 5,909% são compartilhados para formar o quarto fator. Estes quatro fatores representam, portanto, 77,689% do total de variância, ocorrendo uma perda total de variância das variáveis originais igual a 22,311%. A partir dos quatro fatores extraídos, os *scores* fatoriais correspondentes a cada uma das variáveis padronizadas para cada um destes fatores são apresentados no quadro 23.

Quadro 23 - Scores fatoriais.

	Component			
	1	2	3	4
Areia_grossa	-0,354	0,217	0,747	-0,01
Areia_fina	-0,794	0,062	-0,155	-0,198
Silte	0,847	0,008	-0,327	0,012
Argila	0,865	-0,136	-0,005	-0,03
pH_H2O	-0,187	0,728	-0,415	0,134
pH_KCl	-0,19	0,903	-0,234	-0,003
CE	0,663	0,554	0,156	-0,183
CO	0,764	0,339	0,474	-0,078
MO	0,764	0,337	0,476	-0,075
Na	0,699	0,355	-0,234	0,197
K	0,681	-0,052	0,134	-0,21
Ca	0,826	0,331	0,071	0,106
Mg	0,391	-0,065	0,014	0,834
Al3	0,183	-0,649	0,321	0,193
Fe2O3	0,827	-0,252	-0,298	-0,151
TiO2	0,62	-0,322	-0,349	-0,209
Al2O3	0,854	-0,321	-0,134	-0,084

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

A partir destes *scores*, ou seja, do valor correspondente à soma de cada coluna, referente a cada um dos quatro componentes, é possível descrever as expressões para cada componente. No quadro 24 são apresentadas as cargas fatoriais, correspondendo aos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis originais e cada um dos fatores.

Quadro 24 - Cargas fatoriais.

	Component			
	1	2	3	4
Areia_grossa	-0,354	0,217	0,747	-0,01
Areia_fina	-0,794	0,062	-0,155	-0,198
Silte	0,847	0,008	-0,327	0,012
Argila	0,865	-0,136	-0,005	-0,03
pH_H2O	-0,187	0,728	-0,415	0,134
pH_KCl	-0,19	0,903	-0,234	-0,003
CE	0,663	0,554	0,156	-0,183
CO	0,764	0,339	0,474	-0,078
MO	0,764	0,337	0,476	-0,075
Na	0,699	0,355	-0,234	0,197
K	0,681	-0,052	0,134	-0,21
Ca	0,826	0,331	0,071	0,106
Mg	0,391	-0,065	0,014	0,834
Al3	0,183	-0,649	0,321	0,193
Fe2O3	0,827	-0,252	-0,298	-0,151
TiO2	0,62	-0,322	-0,349	-0,209
Al2O3	0,854	-0,321	-0,134	-0,084

Estão destacados os cinco primeiros valores, em vermelho, e os cinco últimos, em verde.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

As variáveis destacadas possuem a maior carga fatorial. No primeiro fator, estão o silte, a argila e o Al_2O_3 representando as maiores correlações positivas, enquanto a areia grossa e a areia fina representam as correlações negativas mais fortes. No segundo componente, o Al^{3+} apresenta correlação positiva forte e o pH em KCl, correlação negativa forte. No terceiro componente, o pH (H_2O) e o TiO_2 apresentam forte correlação positiva, sendo possível observar que apenas o Mg^{2+} apresenta forte correlação negativa.

A soma dos quadrados das cargas fatoriais em cada coluna corresponde ao autovalor, ou ao percentual de variância compartilhada pelas dezessete variáveis originais para formação de cada fator. Já o somatório dos quadrados das cargas fatoriais em linha resulta na comunalidade da respectiva variável, representando o percentual de variância compartilhada de cada variável original nos quatro fatores extraídos. O quadro 25 apresenta estes valores:

Quadro 25 - Comunalidades resultantes da análise fatorial de componentes principais.

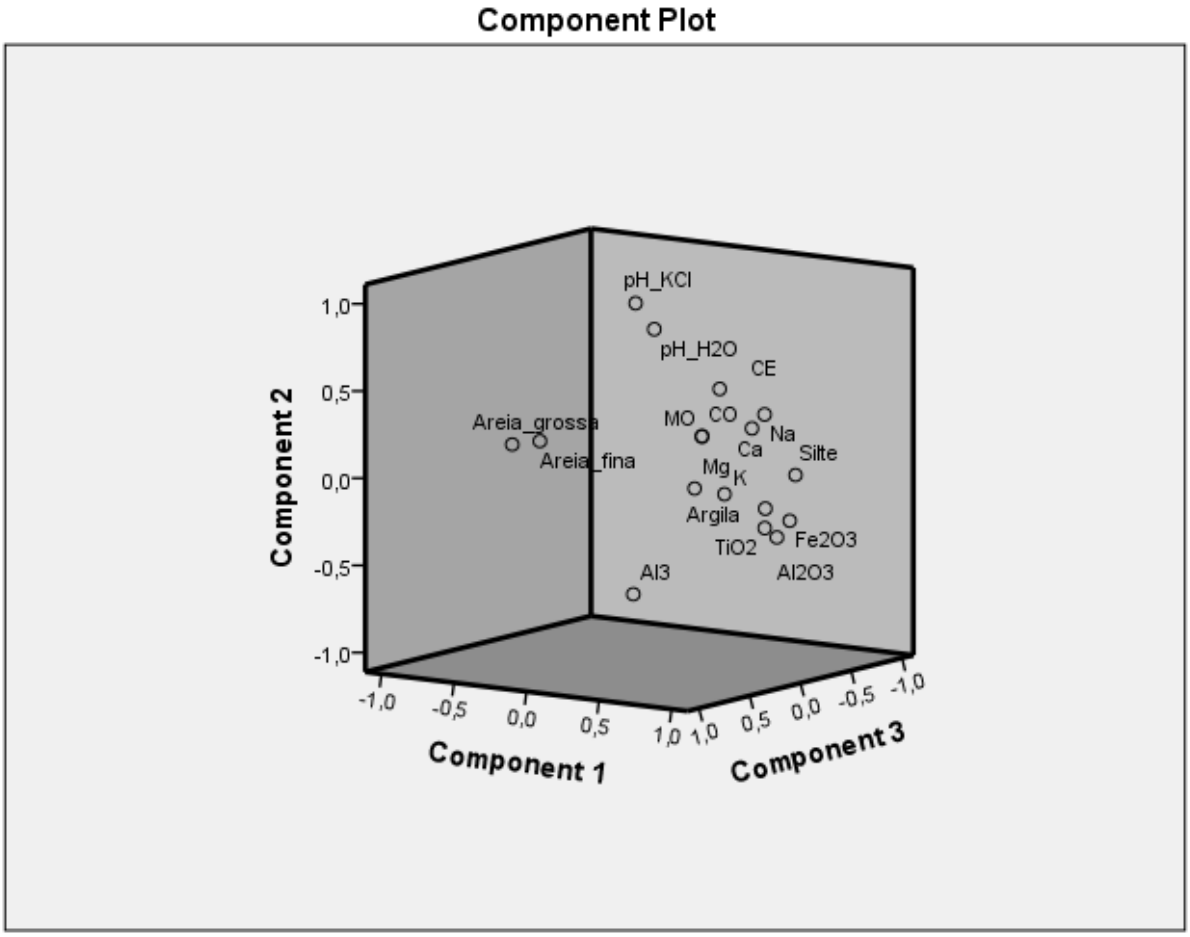
	Initial	Extraction
Areia_grossa	1,000	0,73
Areia_fina	1,000	0,698
Silte	1,000	0,825
Argila	1,000	0,768
pH_H2O	1,000	0,754
pH_KCl	1,000	0,906
CE	1,000	0,803
CO	1,000	0,929
MO	1,000	0,93
Na	1,000	0,709
K	1,000	0,528
Ca	1,000	0,809
Mg	1,000	0,853
Al3	1,000	0,595
Fe2O3	1,000	0,86
TiO2	1,000	0,654
Al2O3	1,000	0,858

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Assim, percebe-se que as variáveis silte, pH (KCl), CE, CO,MO e Ca2+, Mg2+, Fe2O3 e Al2O3 representam os maiores percentuais de variância compartilhada nos quatro fatores analisados.

O *loading plot* apresentado na figura 179 apresenta a posição relativa de cada variável em cada fator extraído, de acordo com as cargas fatoriais em que o eixo das abcissas representa o fator F1 e o das ordenadas, o fator F2. A partir da posição relativa das variáveis em cada eixo, ficam demonstradas a magnitude das correlações entre cada uma delas e cada fator.

Figura 179 - *Loading plot* da análise fatorial de componentes principais.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

5.4. Datação dos sedimentos na planície de inundação da *wetland* do PRP

Os radionuclídeos de carbono podem ser utilizados para analisar a dinâmica de áreas úmidas (CASSINO, 2014) tanto do ponto de vista da distribuição espacial, quanto da escala temporal, pois sua meia vida é calculada em 5.730 anos, podendo detectar eventos ocorridos até 60.000 anos antes do presente (A.P) ou B.P. (*before present*). Eles são datados com base na quantidade de átomos de ^{14}C ainda existentes, o que pode incluir materiais *in situ* ou que tenham sido retrabalhados, ou seja, que tenha se originado em outra área fonte (SANTOS *et al.*, 1999). Daí, se utilizar o termo "tempo de residência média" (TRM) do material, uma vez que é difícil, se estabelecer *a priori* se este encontra-se *in situ*, ou foi mobilizado (AUGUSTIN et al. 2014).

A datação dos sedimentos foi utilizada como *proxy* para a análise da escala temporal da dinâmica mais recente do Pantanal do rio Pandeiros. Devido ao acelerado e visível retrabalhamento de materiais que existe na planície, causado pelas águas das frequentes inundações, foram escolhidos para a datação na subunidade P2 do PRP, dois locais próximos, sendo um situado em área com mais dinâmica da planície de inundação, tendo sido amostrada a lagoa Feia, e o outro, embora próximo ao primeiro, localizado em vereda, também representativas da subunidade P2, em ambiente com menor possibilidade de perturbação em profundidade. Foi ainda amostrada outra área, representativa da subunidade P3 do PRP, na lagoa do Jatobá, constituída de um meandro abandonado próximo do canal atual do rio Pandeiros.

Assim, os resultados esperados eram de que as amostras da lagoa Feia demonstrariam uma dinâmica maior e mais acelerada do material em circulação e nas da vereda, por se constituir em um sistema de drenagem com baixa energia, haveria uma continuidade de eventos mais lenta e menos perturbada. Os resultados da datação estão apresentados na figura 180 e no quadro 26 e os valores brutos discriminados no Apêndice N. No testemunho da Lagoa Feia, a idade da base foi de 3.246 anos A.P., enquanto no meio do perfil a idade datada foi de 1.647 anos A.P. e, no topo, em uma profundidade de 21cm, da superfície a idade não pôde ser calculada, pois era muito recente. Uma possibilidade é que a não determinação da idade tenha ocorrido devido ao impacto do pisoteio do gado, que é criado de forma extensiva na região durante a seca, vindo até a lagoa para a dessedentação, o que causa compactação e a mistura do material.

Figura 180 - Resultado da datação de sedimentos na planície de inundação da *wetland* do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Quadro 26 - Resultados da datação via ^{14}C de macrofósseis e carvão de amostras em diferentes locais da *wetland* do PRP.

LOCAL	PROFUNDIDADE	^{14}C ENRICHMENT (% MODERN ± 1 Δ)	CONVENTIONAL RADIOCARBON AGE (YEARS BP ± 1 Δ)	% CARBON CONTENT	$\delta^{13}C_{VPDB}$ (±0.1)
Vereda Pandeiros	20-21cm	89.39 ± 0.41	901 ± 37	55.8	-26.6
Vereda Pandeiros	74-75cm	70.65 ± 0.31	2.791 ± 35	58.5	-26.6
Vereda Pandeiros	147-148cm	70.77 ± 0.33	2.777 ± 37	34.9	-27.9
Lagoa Feia	20-21cm	103.10 ± 0.47	N/A	49.1	-31.3
Lagoa Feia	74-75cm	81.47 ± 0.37	1.647 ± 37	53.3	-26,9
Lagoa Feia	146-147cm	66.76 ± 0.31	3.246 ± 37	51.5	-19.6
Lagoa do Jatobá	24-25cm	154.60 ± 0.71	N/A	72.8	-28.5
Lagoa do Jatobá	77-78cm	96.00 ± 0.44	328 ± 37	63.9	-28.3

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Os resultados de datação de ^{14}C permitem a interpolação da taxa de sedimentação do material. O cálculo para mensurar a taxa de sedimentação foi adaptado de Dantas e Coelho Netto (1996), ao considerar a duração do evento, entendida aqui como a idade do material datado, em anos, e a espessura do depósito, em cm.

Como o intervalo entre a superfície (0 cm) e 21 cm não pôde ser datado, não foi possível realizar um cálculo preciso para este intervalo. O material amostrado na profundidade de 54 cm, datado em 1.647 anos A.P., corresponde à uma taxa de sedimentação de 30,5 anos para cada cm; ao se utilizar o intervalo de 75 cm, se obtém uma taxa de 21,96 anos para cada centímetro depositado. Ainda, para a amostra de 147 cm de profundidade, datada em 3.246 anos, pode ser calculada uma taxa de 22,08 anos/cm. Este valor se aproxima da taxa de 21,96 anos/cm do intervalo de 75 cm da camada superior.

Na Vereda Pandeiros, a amostra mais superficial até 21 cm, foi datada em 901 anos A.P. Assim, o intervalo entre a superfície (0 cm) até a camada datada, foi calculada com uma taxa de sedimentação de 42,9 anos/cm. Para a profundidade de 75 cm deste testemunho, foi obtida a idade de 2.791 anos A.P., com uma taxa calculada de 35 anos/cm de sedimentação. Para a última camada, em 148 cm, foi calculada uma idade de 2.777 anos A.P., o que equivale à idade contemporânea àquela da camada superior, em 75 cm, com datação de 2.791 anos A.P.

Este resultado da datação não permite o cálculo correto da taxa de sedimentação pois o resultado daria uma média aproximada de 70 dias/cm, o que pode ser considerado um valor muito difícil de corresponder à realidade. Uma interpretação possível para o resultado é a ocorrência de um processo erosivo que tenha retirado o material eventualmente depositado, ou que tenha ocorrido uma sedimentação de 73 cm durante um tempo muito curto. Isto pode ser

correlacionado com as informações obtidas com o GPR para esta área uma vez que estes dados, bem como os de tradagem foram feitos entre a área de coleta da vereda e a lagoa Feia, mostrando a presença de seixos grandes e a evidência de paleocanais nesta área, indicando que a interpretação da ocorrência de processos rápidos e intensos pode ser considerada como válida e precisa ser mais investigada.

Nas amostras da lagoa do Jatobá, foi datada a camada de 24 cm de profundidade e não pôde ser calculada devido à modernidade do material. Contudo, para a camada na profundidade de 74 cm foi calculada a idade de 328 anos. Utilizando o intervalo de 78 cm para o cálculo da sedimentação, haveria uma média de 4,20 anos/cm, ou considerando-se o intervalo de 54 cm, atingiria uma média de 13,66 anos/cm.

Assim, os primeiros resultados de datação desta *wetland* indicam uma taxa de sedimentação que é mais rápida, entre 4,20 anos/cm até 13,66 anos/cm, nas proximidades do rio, na lagoa do Jatobá e mais lenta, entre 35 anos/cm até 42,9 anos/cm, no ambiente da vereda. Na lagoa Feia, onde se esperava encontrar uma dinâmica mais acelerada, a taxa calculada nas camadas mais próximas da superfície, foi de 21,96 anos/cm ou de 30,5 anos /cm e de 22,2 anos/cm em maior profundidade.

Poderia haver a possibilidade de ocorrer uma taxa mais lenta para a deposição dos materiais na vereda Pandeiros, seguida de uma taxa um pouco mais rápida na lagoa Feia e por fim, mais acelerada na lagoa do Jatobá. No entanto, não foi possível confirmar a dinâmica esperada nas áreas da lagoa Feia e da vereda, pois a datação no fundo da lagoa Feia apresentou materiais mais antigos do que os da vereda Pandeiros, que tem a mesma idade daqueles do intervalo de 73 cm, sugerindo a ocorrência de algum evento de deposição ou erosão muito rápida apontando para a possibilidade de que a dinâmica na vereda seja mais acelerada do que na lagoa, apesar da taxa média de sedimentação ser um pouco mais lenta na vereda do que na lagoa.

Foi calculada também a quantidade de CO existente nas amostras, (Quadro 26) e a distribuição granulométrica das amostras, no (Quadro 27). A quantidade de carbono foi considerada muito alta, com o menor valor mensurado de 34,9% no material da base da vereda e o maior valor atingindo 72,8% na amostra do topo da lagoa do Jatobá, sendo os demais valores acima de 49% de carbono.

Também foram mensurados os valores de fracionamento isotópico do ^{13}C (Quadro 26 e Figura 181), que apresentaram valores estáveis em profundidade com exceção da amostra de base da lagoa Feia, que apresentou enriquecimento isotópico no valor de -19,6 do material na

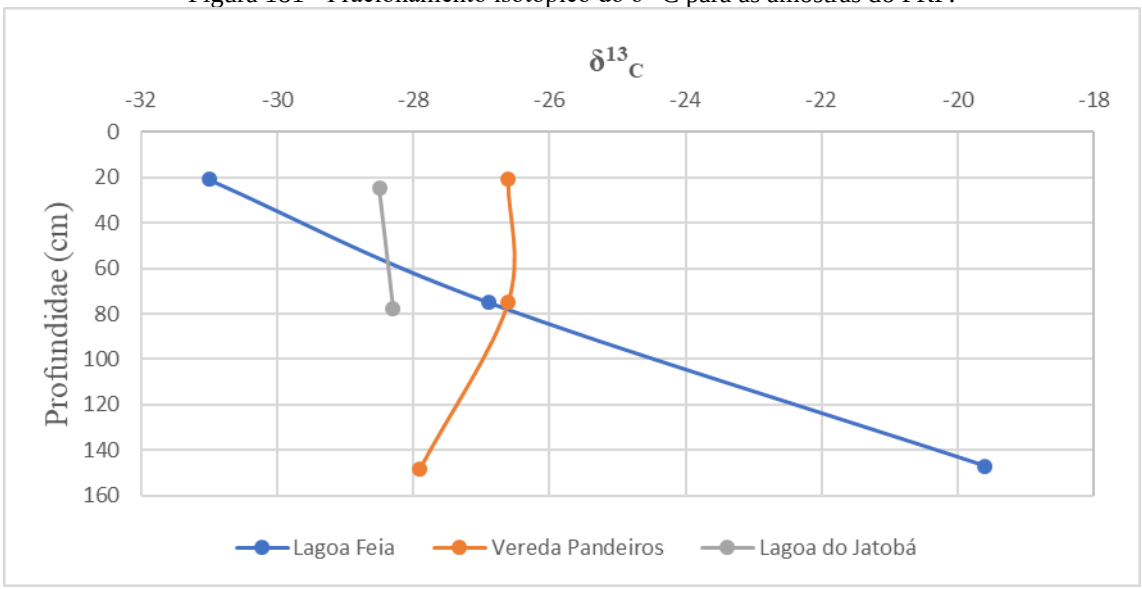
profundidade de 147 cm e datação de 3.246 ± 37 anos. Este dado pode indicar uma vegetação associada ao tipo CAM, cujos valores médios vão de -17‰ a - 22‰, considerando-se que esta área está localizada na transição para uma região semiárida; ou estar associado a uma vegetação mais aberta, do tipo C_4, sugerindo um clima com menor umidade, ou até mesmo com a coexistência de plantas C_3 e C_4 (PESSENDA *et al.*, 2005).

Da mesma maneira, ela ainda pode estar associada à classe C_3, que tem valores entre -23‰ a - 33‰, possuindo um valor médio de -26‰, o qual está próximo a maioria dos resultados encontrados no PRP. Contudo, a C_3 está correlacionada à climas mais úmidos (ou também a climas mais temperados), sem período seco e com elevados teores de CO_2. Os valores médios vão de -9‰ a - 16‰, de plantas C4 características de ambientes com menor umidade (clima semiárido) não foram encontrados.

Os demais valores, que variam entre -26,6 a -31,3, correspondem à vegetação predominantemente C_3, sugerindo uma característica da vegetação de maior porte, associada também a maior umidade no ambiente, que predomina de 2.791 ± 35 até hoje.

Assim, considera-se que o PRP pode ter apresentado um paleoambiente relativamente úmido durante os últimos 3246 ± 37 anos BP, propiciando a existência de plantas C3. É importante buscar integrar os dados desta pesquisa às demais já realizadas sobre o $\delta^{13}C$ no entorno do PRP (DE OLIVEIRA *et al.*, 1999; PESSENDA *et al.*, 2005; ALBARÈDE, 2011; CASSINO, 2014; CHUENG *et al.*, 2018), para verificar a existência ou não de outros valores mais baixos, típicos de plantas da classe C4.

Figura 181 - Fracionamento isotópico do $\delta^{13}C$ para as amostras do PRP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

No quadro 27 estão expressos os valores de granulometria, indicando uma predominância da fração arenosa, com a areia grossa sendo o componente principal em todas as amostras. Como estes valores foram calculados por meio de granulometria a laser, em via seca, sem uso de dispersante e com amostras riquíssimas em MO sem a sua eliminação, é possível que os valores de areia grossa e areia fina estejam superestimados, dificultando fazer uma correspondência precisa com o tipo de energia do ambiente em que estes materiais foram depositados.

Quadro 27 - Distribuição granulométrica das amostras datadas com ^{14}C.

AMOSTRA	**AREIA GROSSA (2 – 0,2 MM)**	**AREIA FINA (0,2 – 0,05 MM)**	**SILTE (0,05 – 0,002 MM)**	**ARGILA (< 0,002 MM)**
LF Topo	87,85%	6,72%	5,39%	0,04%
LF Meio	90,62%	6,44%	2,91%	0,03%
LF Base	87,69%	8,64%	3,64%	0,03%
LJ Topo	93,82%	3,78%	2,35%	0,05%
LJ Base	75,18%	20,1%	4,68%	0,04%
VP Topo	89,52%	8,8%	1,67%	0,01%
VP Meio	94,27%	4,08%	1,64%	0,01%
VP Base	68,72%	26,76%	4,5%	0,02%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

6. CONCLUSÃO

O Pantanal do rio Pandeiros (PRP) é uma *wetland* localizada no interior da América do Sul, em área de transição entre o Cerrado e o semiárido no estado de Minas Gerais, Brasil, que tem como fonte de umidade as precipitações concentradas durante as monções que se deslocam de sul a norte na porção central da América do Sul a estação úmida. As interações entre o relevo, as geocoberturas, e a água superficial e subsuperficial, levam à ocorrência de configurações temporais e espaciais que possibilitam a manutenção da *wetland*.

Esta área, ainda pouco conhecida em termos da dinâmica do seu meio físico, principalmente com relação à Hidrogeomorfologia e seus efeitos sobre a manutenção do PRP, localizado na margem esquerda do médio rio São Francisco, tornou-se o objeto de estudo desta tese. As hipóteses que orientam o estudo são a de que a dinâmica da *wetland* é produto de processos hidrogeomorfológicos multiescalares da bacia do rio Pandeiros e do rio São Francisco, em a que a sua variação do nível das águas durante os pulsos de inundação envolvem controles espaciais que variam ao longo do tempo, alterando a dinâmica do PRP ao longo do ciclo hidrológico anual.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo central, a análise das interações entre relevo, geocoberturas e água superficial e subsuperficial que ocorrem no PRP, abrangendo escala espacial e temporal, além da caracterização dos principais processos hidrogeomorfológicos responsáveis pela configuração atual da *wetland* como resultado de interação dinâmica entre o rio Pandeiros e o rio São Francisco.

As evidências geradas a partir dos resultados permitem a aceitação da hipótese proposta, uma vez que os dados analisados indicam a existência de pulsos de inundação, bem como de características específicas destes pulsos, tanto na bacia do rio Pandeiros, quanto no rio São Francisco, que forma seu nível de base. As análises também apontaram que esta dinâmica é resultante das oscilações da cota do rio São Francisco, sobre os níveis da água no interior da *wetland*, na foz do rio Pandeiros. Estes pulsos mostraram relação direta com a precipitação na bacia do rio São Francisco e no entorno da bacia do rio Pandeiros.

Também foi demonstrado pelos dados obtidos com análise de ^{10}Be, que a produção acelerada de sedimentos na bacia do rio Pandeiros e transferidos para o PRP, tem uma escala de tempo milenar (Ma). A análise dos dados das geocoberturas da *wetland*, apontaram que estas têm composição essencialmente arenosa, mas que contêm, em menor proporção, outras granulometrias mais finas (silte e argila), associadas à ambientes com menor energia, o que foi

reforçado pelos dados de *Ground Penetrating Radar* (GPR) que indicaram a presença de horizontes com variação de energia deposicional ao longo do tempo.

O mapeamento de detalhe do PRP, possibilitou a identificação de 4 subunidades geomorfológicas, que mais tarde, com o auxílio de dados de vazão do rio Pandeiros e do nível das águas do rio São Francisco associados aos dados dos piezômetros, mostraram ter características hidrogeomorfológicas muito diferentes entre si estando sujeitas à diferentes fontes de inundação e de circulação de materiais, incluindo a possível existência de diferentes estágios de dinâmica durante os pulsos de inundação.

Os objetivos propostos foram em grande parte atendidos, possibilitando ampliar o conhecimento sobre o Pantanal do rio Pandeiros. Destacam-se os principais resultados:

- A bacia do rio Pandeiros, encontra-se situada em uma zona de transição entre o trópico úmido (Cerrado) e o semiárido (Caatinga), o que torna esta região um ecótono. Sua *wetland*, do tipo continental, apresenta inundação temporária, com frequência polimodal, ou seja, sua fonte de umidade depende da ocorrência de chuvas de monção na América do Sul (Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS e Zona de Convergência de Umidade – ZCOU). A dinâmica do PRP é, portanto, o resultado de uma combinação de diversos fatores, que dependem tanto das características da bacia do rio Pandeiros, quanto daquelas da bacia do rio São Francisco, em especial nas proximidades da confluência do primeiro. A existência do PRP encontra-se ameaçada pelos problemas ambientais que ocorrem nestas duas áreas.

- A identificação dos domínios geomorfológicos de toda a bacia do rio Pandeiros, mostrou a existência de áreas com características muito díspares, incluindo a do baixo curso do rio, onde se encontra localizado o Pantanal e as planícies aluviais dos rios Pandeiros e São Francisco. Estas formam um complexo de vertentes muito planas, sem predominância de orientação e baixa declividade geral. Esta unidade caracteriza-se por ter uma baixa energia hidráulica, quando comparada a outros domínios, sendo recoberta por coberturas detrito-lateríticas com depósitos aluvionares recentes e antigos e por rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

- A utilização do nuclídeo cosmogênico ^{10}Be para cálculo da taxa média de desnudação de bacias hidrográficas indicou que existem na bacia do rio Pandeiros dois conjuntos de ambientes com diferentes comportamentos de erosão, com o fornecimento de sedimentos para transporte e circulação na bacia: 1) encontrado nas margens esquerda (sub-bacia do Catolé) e direita (sub-bacia do Pindaibal), com taxas de desnudação consideradas baixas, inferiores a 10 m/Ma; 2) o outro conjunto, com taxas muito altas, de 58,7 m/Ma referentes ao alto curso do rio

Pandeiros. A taxa de desnudação média de toda a bacia do rio Pandeiros, é de 45 m/Ma, medida em amostra coletada na área da PCH, indicando uma grande quantidade de sedimentos retirados do sistema em escala temporal que envolve quase todo o Quaternário.

- A análise dos dados de vazão do rio Pandeiros, revelam uma importante contribuição da descarga hídrica do rio para a acumulação de água no PRP, e que possui uma correspondência grande entre os períodos em que ocorrem os pulsos de inundação no rio Pandeiros e no rio São Francisco, revelando sua contribuição para a inundação do PRP. Os dados mostram, no entanto, que a vazão tem reduzido drasticamente a partir da década de 1990.

- Os resultados de trabalhos de campo realizados durante o início e meio do período de inundação do PRP mostram que o nível das águas do rio São Francisco próximo à foz do rio Pandeiros, quando atinge uma quota de 500 cm na estação fluviométrica na cidade de São Francisco, situada a 42 km da foz do rio Pandeiros, cria condições para a acumulação e consequente inundação do PRP. Estes pulsos de inundação, promovidos pelas ocorrências das monções na América do Sul e que ocorrem durante a estação úmida, conferem à *wetland* diferentes características de frequência, duração, magnitude e intensidade de inundação, que sofrem variações temporais, apresentando alguma sazonalidade entre períodos mais secos e outros mais úmidos nos últimos 90 anos. No entanto, foi identificado pela análise de dados fluviométricos, que há uma tendência muito clara de redução média das cheias do rio São Francisco, a partir da década de 1990, o que parece estar comprometendo as características do período úmido do PRP. É necessário investigar mais detalhadamente a correlação entre a vazão liberada pela Usina Hidrelétrica de Três Marias neste mesmo período, para avaliar se este comportamento pode levar a uma mitigação dos pulsos de inundação que chegam até a foz do rio Pandeiros, a fim de controlar a vazão e reservamento de água para produção de energia elétrica nesta bacia.

- Os dados também mostram que este comportamento se repete ao analisar os dados da estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz, a jusante do PRP. Esta redução do nível da água deve ser melhor investigada no sentido de buscar alguma alteração na dinâmica hidrogeomorfológica na bacia do rio São Francisco, como a redução das áreas úmidas nas áreas de nascentes dos afluentes (ex. veredas) decorrentes da conversão de uso terra, da drenagem das *wetlands*, o que prejudica a capacidade de armazenamento e disponibilização de recursos hídricos. Outro fator que deve ser investigado é a interferência de fenômenos climáticos, como a ocorrência de *El Ninõ, La Niña* que podem trazer oscilações climáticas no intervalo de

décadas, ou em prazo maior, além de outras anomalias de temperatura de superfície do mar (TSM) como a Oscilação Decadal do Pacífico e a Oscilação Multidecadal do Atlântico.

- O monitoramento do nível da água no PRP no período analisado, mostrou uma influência muito clara dos pulsos de inundação na fase úmida da *wetland*, sendo que na subunidade P4, na transição do Pantanal para os sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco, a influência do nível deste último rio para as inundações é direta, identificada durante 2 episódios em que o nível do rio São Francisco esteve acima de 500 cm, e o PRP sofreu um aumento do nível da água nos mesmos períodos correspondentes.

- Na subunidade P3, há uma influência do nível do rio São Francisco ainda presente, mas com menor intensidade, comparada a subunidade P4. Na subunidade P3 tem início uma influência do regime do próprio rio Pandeiros, principalmente quando este, durante o pulso de inundação, extravasa seu leito sobre os diques marginais e provoca a inundação das lagoas marginais permanentes e temporárias.

- As subunidades P2 e P1, apresentam a intensidade e frequência de inundação diretamente vinculadas à intensidade do pulso de inundação (dados de vazão e precipitação média na bacia) do rio Pandeiros. Foi também detectada uma importante influência do nível freático, que a partir do início do período úmido, provoca uma elevação regional de seu nível em toda a *wetland*. Após a realização deste trabalho, pode ser considerada de extrema importância a continuidade do monitoramento do nível da água nesta área, além do monitoramento da vazão a montante e a jusante do PRP a fim de quantificar as possíveis contribuições que o Pantanal tem para recarga do nível freático, durante a estação seca, além da importância do desenvolvimento e instalação de um sensor para determinar com maior precisão os períodos de inundação do PRP.

- A análise física e química da água na bacia do rio Pandeiros, no PRP e no rio São Francisco próximo a foz foi realizada no final do período seco e no final do período úmido. As análises físicas como turbidez e sólidos totais dissolvidos indicam claramente uma assinatura específica da característica da água de cada um desses ambientes, para cada período hídrico, o mesmo ocorrendo com relação aos dados de pH, CE, sílica e alcalinidade. Análises de ICP-OES revelam uma predominância de Mg e Ca em todas as amostras analisadas durante todo o ano e, na estação úmida, a ocorrência de baixíssimas quantidades de Al, Fe e Ti nas amostras, possuindo a mesma diferenciação em cada ambiente.

- A utilização dos traçadores isotópicos $\delta^{2}H$ e $\delta^{18}O$ complementaram as análises físicas e químicas da água, sendo realizadas em períodos diferentes e em locais também diferentes,

demonstrando haver uma correspondência entre os ambientes do PRP e as águas características do rio São Francisco no interior da *wetland* em um momento inicial da inundação e depois nesta mesma área na *wetland*, ocupada com água característica da assinatura isotópica do rio Pandeiros, mostrando uma contribuição dinâmica e complexa para a formação e manutenção do PRP. Esta ação indicou a necessidade de um monitoramento constante desta dinâmica não apenas no PRP, mas também das lagoas marginais do rio São Francisco próximas da *wetland*, durante os pulsos de inundação mais intensos continuando a utilizar os isótopos ^{2}H e ^{18}O. Além disso, uma investigação da ligação do nível subterrâneo e a zona úmida do Pantanal ainda precisa ser investigada, devido à possibilidade de ocorrência de sistemas cársticos sob a *wetland* utilizando para isso, as análises de ^{3}H, ^{13}C e ^{14}Ccomo traçadores e para datação da água.

- As geocoberturas do PRP possuem características em comum, tais como uma textura predominantemente arenosa nas altas vertentes e com transição entre camadas arenosas e argilosas na planície de inundação. Os elementos químicos mais presentes nas geocoberturas, em geral: Fe, Al e Ca, sendo Ti e Na. As vertentes são normalmente muito planas, mesmo quando há a presença de pequenos canais de meandros efêmeros ou abandonados. A amplitude altimétrica é inferior a 5 metros na planície de inundação, que possui diferentes larguras, desde o Alto Pantanal, onde é mais estreita, até o Baixo Pantanal, onde é mais larga. Contudo, ainda é necessário realizar levantamentos comparativos entre os sedimentos do rio São Francisco e das diferentes áreas de contribuição de processos erosivos no entorno do PRP e na bacia do rio Pandeiros, como apontado por Lima (2019), a fim de entender em detalhes a origem e dinâmica de transporte de sedimentos pelo PRP, fato que ainda não está completamente compreendido.

- A subunidade P1, classificada como Alto Pantanal apresenta uma variação de ambientes, desde aqueles drenados na alta vertente e próximos ao canal fluvial atual, de textura predominantemente arenosa, até no meio do transecto, onde observa-se a ocorrência de áreas hidromórficas correspondentes a uma vereda muito degradada e um meandro abandonado, onde predomina uma textura média das geocoberturas e uma grande quantidade de CO. Esta subunidade poderia ser analisada sob o ponto de vista de seu uso, pois não tem um grande reconhecimento como parte do PRP; conta, no entanto, com inúmeros meandros e pequenas lagoas circunscritos a três regiões, onde há uma variação topográfica maior, e a presença de elevados valores de pH e CE, coincidentes com a presença de vários afloramentos de calcário apontando para a possibilidade destas áreas serem poljes em diferentes estágios de evolução.

- Na subunidade P2, no Médio Pantanal, a presença de horizontes com uma grande quantidade elevada de CO na planície de inundação, pode indicar que esta é uma área que foi

sujeita a inundação no passado, mas que atualmente é formada por lagoas temporárias no fundo do vale, tendo na porção alta e média das vertentes textura predominantemente arenosa. O levantamento de GPR revelou a presença de estruturas subsuperficiais discordantes do relevo plano atual, principalmente próximo a lagoa Feia, onde foi realizado também uma tradagem em maior profundidade, sendo encontrado uma camada de seixos angulosos com até 5 cm de diâmetro, entre 2,5 m e 3 m, indicando uma ampla variação de energia nesta subunidade, desde processos fluviais até ambientes mais lênticos, com baixa energia, possibilitando a deposição de argila e MO. Nesta área seria extremamente importante ampliar o levantamento geofísico e de datação dos ambientes deposicionais, buscando compreender a evolução do PRP, pois existem indícios de que no passado era área era inundada ativamente, e atualmente parece estar menos úmida. Em maior profundidade, existem diferentes níveis de energia de deposição dos materiais e que ainda não estão bem compreendidos, buscando uma correlação com a evolução pretérita da *wetland*.

- Na subunidade P3, que foi classificada como Baixo Pantanal, local onde predominam as lagoas permanentes e com maior área de inundação, ocorre uma predominância de geocoberturas de textura arenosa, apesar da presença de algumas camadas com maior teor de CO. A análise de GPR evidenciou a presença de um canal de drenagem em subsuperfície localizado no terraço, acima da planície de inundação atual, presente nesta subunidade e que durante as inundações de grande intensidade, ainda fica inundado. É possível ampliar a escala de análise desta subunidade do PRP, buscando entender a dinâmica de avulsão de canais que ocorre aqui, bem como a conectividade entre as lagoas permanentes, temporárias e os locais de acumulação recente de areia que foi verificada em alguns locais desta subunidade e que podem representar novas áreas de assoreamento do PRP.

- A subunidade P4, que representa uma transição entre o PRP e os sistemas de lagoas marginais do rio São Francisco, apresenta uma variação de geocoberturas com textura arenosa na alta vertente até uma textura muito argilosa na planície de inundação, onde ocorre a lagoa do Saputá, de caráter temporário, caracterizada como uma das depressões mais significativas do PRP devido a sua grande extensão, possuindo a altitude correspondente a mesma altitude do canal do rio São Francisco. Os levantamentos de geofísica revelam uma estrutura subsuperficial com camadas horizontalizadas, mas demonstrando uma transição típica de vale fluvial abandonado entre a alta vertente e a lagoa do Saputá. Contudo, ainda restam possibilidades de pesquisa na margem direita desta subunidade que parece apresentar um teor maior de argila,

além dos vários meandros e lagoas do sistema marginal das lagoas do rio São Francisco, que ainda não são bem compreendidos nesta bacia hidrográfica.

- A datação absoluta da MO nos sedimentos em macrofósseis por meio do ^{14}C revela uma idade entre 3.246 anos A.P. e 2.777 anos A.P. como mais antigas encontradas a 150 cm de profundidade; passando, na profundidade, de 74 cm a 78 cm, com idades variando de 2.791 anos A.P. a 328 anos A.P.; até as camadas mais próximas a superfície entre 20 cm a 25 cm com a idade variando de 0 A.P. até 901 anos A.P.. Esta foi apenas uma investigação preliminar e limitada em termos de profundidade e abrangência espacial, considerando a diversidade de ambientes que existem na *wetland*. Abre-se, assim, novas possibilidades para investigações na área que busquem maior profundidade e a datação da MO do solo, por meio da fração humina, e não apenas a datação absoluta, como foi realizado neste caso.

- Na área a jusante do PRP, próximo a foz do rio Pandeiros e do sistema de lagoas marginais do rio São Francisco, a dinâmica de inundações é muito mais ativa, existindo diversas lagoas permanentes, temporárias, e uma mudança constante do canal do rio Pandeiros. Isto está claramente associado ao fato de que se trata de uma depressão topográfica, que ainda não tem sua origem definida, podendo ser sido formada por dissolução das rochas carbonáticas do substrato rochoso abaixo dos sedimentos, ou por uma possível falha geológica, que tenha provocado o basculamento desta área, o que poderia ser objeto de pesquisas posteriores.

- Também se revela de uma importância muito grande o monitoramento do regime de precipitação não apenas da bacia do rio Pandeiros, mas também na bacia do rio São Francisco a montante da foz do rio Pandeiros, que, como demonstrado, é a grande responsável pelo início da inundação do PRP, quando o nível do rio São Francisco se eleva, quando ocorrem os episódios de ZCAS na área da bacia.

Desta forma, uma das principais contribuições desta pesquisa é a análise realizada, associando as *wetlands* aos processos hidrogeomorfológicos e aos pulsos de inundação que podem certamente colaborar no entendimento da dinâmica não apenas do PRP como uma abordagem multiescalar, mas também de outras pequenas *wetlands* similares que existem na América do Sul nas áreas tropicais úmidas e semiáridas.

- Espera-se que este estudo possa contribuir para ampliar o conhecimento sobre as *wetlands* em geral, e sobre a do Pantanal do rio Pandeiros, em particular, de maneira a subsidiar políticas públicas de proteção ambiental das áreas úmidas, bem como o seu planejamento e gestão, a partir da redução de impactos ambientais negativos e buscando a sustentabilidade destes espaços em vista da interface entre o meio físico, social e econômico e sua resiliência.

7. REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, p. 1-23, 1969.

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 7. ed. São Paulo: Ateliê editorial, 2012.

ACREMAN, M.; HOLDEN, J. How wetlands affect floods. **Wetlands**, v. 33, n. 5, p. 773-786, 2013.

ALBARÈDE, F. **Geoquímica: uma introdução**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

ALHO, C. J. R.; SABINO, J. Seasonal Pantanal flood pulse: implications for biodiversity. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 4, p. 958-978, 2012.

ALMEIDA, B. G.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. **Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil.** Rio de Janeiro. EMBRAPA SOLOS, 2012. Comunicado Técnico 66. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/950832/1/ComTec66AnaliseGranulometrica.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2019

ALVALÁ, R. C. S.; CUNHA, A. P. M. A.; BRITO, S. S. B.; SELUCHI, M. E.; MARENGO, J. A.; MORAES, O. L. L.; CARVALHO, M. A. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. suppl 1, p. 1–15, 16 out. 2017.

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. Técnicas de estatística multivariada aplicadas a estudos de qualidade de água e solo. *In*: **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 115–126.

ANJOS, L. V. A. S. **O uso da eletrorresistividade 2D como ferramenta de investigação geoambiental em área de aterro sanitário no município de Cuiabá**. 2019. 79 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.

ARANHA, P. R. A. **Estudo das Coberturas Superficiais e sua Dinâmica na Região de Gouveia. Serra do Espinhaço, MG: Utilizando o Radar de Penetração no solo (GPR).** 2002. 305f. Tese (Doutorado em Geociências) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2002.

ARANHA, P. R. A. **Método Geo-radar e suas aplicações.** Belo Horizonte: ARANHA, P.R.A., 2003. Apostila GPR_V09.

ARANHA, P. R. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; SOBREIRA, F. G. The use of GPR for characterizing underground weathered profiles in the sub-humid tropics. **Journal of Applied Geophysics**, v. 49, n. 4, p. 195–210, 2002.

ARNOLD, J. R.; LIBBY, W. F. Age determinations by radiocarbon content: checks with samples of known age. **Science**, v. 110, n. 2869, p. 678-680, 1949.

ASSINE, M. L. **Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. 2003. 106f. Tese (livre-docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

AUGUSTIN, C. H. R. R. **A preliminary integrated survey of the natural resources near Alcantarilla, Southeast Spain.** 1979. 328f. Dissertação (Master of Science Thesis) - University of Sheffield, Sheffield, 1979.

AUGUSTIN, C. H. R. R.**;** ARANHA, P. R. A. Piping em área de voçorocamento, noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, nº 1, p. 09-18, 2006.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; COE, HELOISA H.G.; CHUENG, K. F.; GOMES, J. G. Analysis of geomorphic dynamics in ancient quartzite landscape using phytolith and carbon isotopes, Espinhaço Mountain Range, Minas Gerais, Brazil. **Géomorphologie: relif, processus, environment** (Paris), v. 4, p. 355 - 376, 2014.

AUGUSTIN, C. H. R. R.; MELO, D. R.; ARANHA, P. R. A. Aspectos geomorfológicos de veredas: um ecossistema do bioma do cerrado, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 10, nº 1, 2009.

AUGUSTIN, C.H.R.R; FONSECA, B. M.; OLIVEIRA, D. A.; LIMA, A. C. P.; ARANHA, P.R.A. **Terceira prestação de contas científica parcial do Projeto APQ-03773/14, FAPEMIG-MG.** 2017. 28 p.

AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B. M.; OLIVEIRA, D. A.; LIMA, A. C. P.; ARANHA, P.R.A.; SILVA, P. D.de O.; SABINO, S.; FRANCO, G.G.; CARVALHO, D. C. F. Relatório Final do Subprojeto 1a, do Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG **(APQ-03773/**14), Belo Horizonte, **FAPEMIG-MG,** 2019/2020. 280p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os Trópicos.** 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

AZEVEDO, I. F. P. **Fenologia de espécies arbóreas de vegetação ciliar em região de transição cerrado-caatinga**. 2010. 30 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2010.

BALCO, G.; STONE, J. O.; LIFTON, N. A.; DUNAI, T. J. A complete and easily accessible means of calculating surface exposure ages or erosion rates from ^{10}Be and ^{26}Al measurements. **Quaternary Geochronology**, v. 3, n. 3, p. 174–195, 2008.

BARBOSA, I. S. **Classificação e caracterização dos ambientes de terras úmidas do refúgio de vida silvestre do rio Pandeiros, a partir do uso de imagens Ikonos**. 2010. 78f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

BARCELOS, J. H.; SUGUIO, K. Distribuição regional e estratigráfica das formações cretácicas do oeste mineiro. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1980. p. 683-690.

BARRETO, H. N.; VARAJÃO, C. A. C.; BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D. L.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C. Denudation rates of the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil, determined by in situ-produced cosmogenic beryllium-10. **Geomorphology**, v. 191, p. 1–13, jun. 2013.

BARROS, L. F. P.; LAVARINI, C.; LIMA, L. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Síntese dos cenários paleobioclimáticos do quaternário tardio em Minas Gerais/sudeste do Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 3, p. 371–385, dez. 2011.

BETHONICO, M. B. M. **Área De Proteção Ambiental Estadual Do Rio Pandeiros - MG: Espaço, Território E Atores**. 2009. 288 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

BEZERRA, D. P. **The pattern and style of landscape evolution in post-orogenic settings**. 2018. 273 f. Tese (PhD thesis) – School of Geographical and Earth Sciences, University of Glasgow, Glasgow, 2018.

BLANCKENBURG, F. V. The control mechanisms of erosion and weathering at basin scale from cosmogenic nuclides in river sediment. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 237, n. 3–4, p. 462–479, set. 2005.

BLANCKENBURG, F.V.; WILLENBRING, J. K. Cosmogenic Nuclides: Dates and Rates of Earth-Surface Change. **Elements**, v. 10, n. 5, p. 341-346, 2014.

BRANCO, J. J. R.; COSTA, M. T. Roteiro da excursão Belo Horizonte–Brasília. Belo Horizonte, UFMG-Instituto de Pesquisas Radioativas. **Publicação**, v. 15, 1961 *apud* MINAS GERAIS. CODEMIG. (b) **Mapa geológico Folha São Joaquim - SD.23-Y-D-III.** Belo Horizonte: CODEMIG, 2015. (Projeto Fronteiras de Minas). Escala 1:100.000.

BRASIL. Decreto Federal nº 1905, de 16 de maio de 1996. Promulga a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, de 02 de fevereiro de 1971. **Convenção de Ramsar**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/D1905.htm>. Acesso em: 24 fev. 2014.

BRASIL. **Lei Federal n° 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 27 jan. 2013.

BRASIL. SUDENE. **Resolução Nº 107/2017.** SUDENE, 2017. Disponível em: <www.sudene.gov.br.>. Acesso em: 28 jul. 2019

BRIDGE, J.; DEMICCO, R. **Earth surface processes, landforms and sediment deposits**. Cambridge University Press, 2008.

BRINSON, M. M. **A Hydrogeomorphic Classification for *Wetland*s.** *Wetland*s Research Programm Technical Report WRP-DE-4. Washington: 1993. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a270053.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BRITO, S. S. B.; CUNHA, A. P. M. A.; CUNNINGHAM, C. C.; ALVALÁ, R. C.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, M. A. Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. **International Journal of Climatology**, v. 38, n. 2, p. 517–529, fev. 2018.

CALHEIROS, D. F. **Influência do pulso de inundação na composição isotópica ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) das fontes primárias de energia na planície de inundação do rio Paraguai (Pantanal – MS)**. 2003. 164 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CALHOUN, A. J. K.; MUSHET, D. M.; BELL, K. P.; BOIX, D.; FITZSIMONS, J. A.; ISSELIN-NONDEDEU, F. Temporary *wetland*s: challenges and solutions to conserving a "disappearing" ecosystem. **Biological Conservation**, v. 211, p. 3–11, 2016.

CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia e sedimentação da bacia Sanfranciscana: uma revisão. **Revista Brasileira de Geociências,** Brasília, v. 27, n. 3, p.269-282, set. 1997.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia.** Goiânia: Editora da UFG, 1994. 137 p.

CASSINO, R. F. **Reconstituição paleoambiental da região dos cerrados do norte de Minas Gerais baseada na análise palinológica de sedimentos de veredas e na comparação com conjuntos polínicos atuais**. 2014. 222 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

CETEC, F. C. T. M. G. **2º plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro**. Belo Horizonte: CETEC, 1981.

CHEREM, L. F. S.; VARAJÃO, C. A. C.; BRAUCHER, R.; BOURLÉS, D.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. C. Long-term evolution of denudational escarpments in southeastern Brazil. **Geomorphology**, v. 173–174, p. 118–127, nov. 2012.

CHORLEY, R.J. Geomorphology and the General System Theory. **United Geological Survey**, Professional Paper 500-B.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2º ed. São Paulo: Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1981.

CHUENG, K.; COE, H.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; VASCONCELOS, A.; MACÁRIO, K.; DIAS, R.; SEIXAS, A.; SILVA, V.C.; RICARDO, S. **Compreensão da geodinâmica quaternária e de processos geomorfológicos em Minas Gerais, através de estudos de reconstituição paleoclimática com fitólitos e isótopos de carbono**. XII SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB - União da Geomorfologia Brasileira.

Anais...Crato: XII SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB - União da Geomorfologia Brasileira., 2018. Disponível em: http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/7/7-125-669.html. Acesso em: 21 fev. 2020.

CLARK, I. **Groundwater, geochemistry and isotopes**. [s.l.] CRC Press, 2015.

CLAYTON, Keith Martin. Geomorphology—a study which spans the geology/geography interface. **Journal of the Geological Society**, v. 127, n. 5, p. 471-476, 1971.

CLEVELAND, R. B.; CLEVELAND, W. S.; MCRAE, J. E.; TERPENNING, I. STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. **Journal of Official Statistics**, v. 6, n. 1, p. 3–73, 1990.

CROUZEILLES, R.; FELTRAN-BARBIERI, R.; FERREIRA, M. S.; STRASSBURG, B. B. N. Hard times for the Brazilian environment. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 9, p. 1213–1213, 9 set. 2017.

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT, 2015.

DAM, R. L. VAN. Landform characterization using geophysics - Recent advances, applications, and emerging tools. **Geomorphology**, v. 137, p. 57-73, 2012.

DANIELS, D. (ED.). **Ground Penetrating Radar**. 2ª ed. Cornwall: The Institution of Electrical Engineers, 2004.

DANTAS, M. E.; COELHO NETTO, A. L. **Resultantes Geo-Hidroecológicas do Ciclo Cafeeiro (1780-1880) no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Uma Análise Quali-Quantitativa**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 19, p. 61–78, 1996.

DE AZEVEDO, I. F. P. DE; NUNES, Y. R. F.; ÁVILA, M. A. DE; SILVA, D. L. DA; FERNANDES, G. W.; VELOSO, R. B. Phenology of riparian tree species in a transitional region in southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 37, n. 1, p. 47–59, 5 march. 2014.

DE JONG, P. DE; TANAJURA, C. A. S.; SÁNCHEZ, A. S.; DARGAVILLE, R.; KIPERSTOK, A.; TORRES, E. A. Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of The Total Environment**, v. 634, p. 1540–1553, set. 2018.

DE LIMA BRAGA, L. **Performance de mudas e desenvolvimento da regeneração natural em diferentes modelos de restauração em uma floresta ciliar no sudeste do Brasil**. 2011. 50 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2011.

DE OLIVEIRA, D. A.; ROSOLEN, V. Os sistemas úmidos na paisagem de chapada, o uso da terra e desafios da preservação ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2, 18 ago. 2014.

DE OLIVEIRA, P. E.; BARRETO, A. M. F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São

Francisco River. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 152, n. 3–4, p. 319–337. 1999.

DIAS, L. C. **Análise da paisagem da área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG: subsídios para o manejo e conservação da fauna**. 2017. 86 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Conservação da Fauna) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2017.

DIEGUES, A. C. S. **An inventory of Brazilian Wetlands**. Gland, Switzerland, 1994.

DUNAI, T. J. **Cosmogenic Nuclides: principles, concepts and applications in the Earth surface sciences**. 1ª ed. Cambridge University Press, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 2017.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. D. J. Aplicação do índice "Relação Declividade-Extensão - RDE" na bacia do Rio do Peixe (SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Geologia USP. Série Científica**, v. 4, n. 2, p. 43–56, 1 out. 2004.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no Vale do Rio do Peixe, Região Ocidental Paulista, mediante aplicação de Índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. **Geociências**, v. 25, n. 3, p. 271–287, 2006.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. **Manual de análise de dados**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERREIRA, A. I. A. J. V. **Espectometria de massa de razões isotópicas**. 2008. 299f. Tese (Doutoramento em Química) – Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2008.

FILIZOLA, H. F.; BOULET, R. Evolution and opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. **Geomorphology**, v. 16, n. 1, p. 77–86, may, 1996.

FLEMMING, B. W. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. **Continental Shelf Research**, v. 20, p. 1125–1137, 2000.

FONSECA, B. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise morfométrica de bacias de drenagem e sua relação com a estrutura geológica, Serra do Espinhaço Meridional, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n.2, p.153-172, 2014.

FONSECA, D. S. R. **Avaliação temporal por NDVI em ambientes naturais na área de preservação ambiental do Rio Pandeiros/MG**. 2012. 39 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2012.

FONSECA, E. M. B.; GROSSI, W. R.; FIORINE R. A; PRADO, N. J. S. **PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional.** Anais do VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. **Anais**...Belo Horizonte: Anais do VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas, 2008.

FONTES, A.; ZUCCHI, M.; MEDEIROS, Y.; AZEVEDO, A. Estudo da Dinâmica do Fluxo de Água na Bacia do Rio Jacuípe por Meio de Traçadores Ambientais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 3, p. 27–36, 2011.

GARDINER, V.; DACKOMBE, R. **Geomorphological Field Manual**. London: George Allen & Unwin. 254p. 1983.

GIBBS, J. P. importance of small wetlands for the persistence of local populations of wetland-associated animals. **Wetlands**, v. 13, n. 1, p. 25–31, 1993.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 103–111, 19 out. 2012.

GOMES, C. S. **Bases teórico-conceituais e subsídios para a classificação hidrogeomorfológica das áreas úmidas em Minas Gerais**. 2017. 212 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

GOMES, C. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Sistemas de classificação de áreas úmidas no Brasil e no mundo: panorama atual e importância de critérios hidrogeomorfológicos. **Geo UERJ**, n. 33, p. 34519, 31 dez. 2018.

GOUDIE, A. S. **Geomorphological Techniques**. London: Britisch Geomorphologica Research Group (Eds), George Allen & Unwin. 1981. 395 p.

GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. [s.l.] Routledge, 2004.

GRANGER, D. E.; LIFTON, N. A.; WILLENBRING, J. K. A cosmic trip: 25 years of cosmogenic nuclides in geology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 125, n. 9–10, p. 1379–1402, 1 set. 2013.

GRANGER, D. E.; SCHALLER, M. Cosmogenic Nuclides and Erosion at the Watershed Scale. **Elements**, v. 10, n. 5, p. 369–373, 1 out. 2014.

GRASEL, D.; FEARNSIDE, P.M.; VITULE, J. R. S.; BOZELLI, R. L.; MORMUL, R. P.; RODRIGUES, R. R. WITTMANN, F.; AGOSTINHO, A. A.; JARENKOW, J. A. Brazilian wetlands on the brink. **Biodiversity and Conservation**, v. 28, p. 255–257, 2019.

HAN, X.; FENG, L.; HU, C.; CHEN, X. Wetland changes of China's largest freshwater lake and their linkage with the Three Gorges Dam. **Remote Sensing of Environment**, v. 204, p. 799–811, 2017.

HETTIARACHCHI, M.; MORRISON, T. H.; MCALPINE, C. Forty-three years of Ramsar and urban wetlands. **Global Environmental Change**, v. 32, p. 57-66, 2015.

HIPPE, K.; KOBER, F.; ZEILINGER, G.; IVY-OCHS, S.; MADEN, C.; WACKER, L.; KUBIK, P. W.; WIELER, R. Quantifying denudation rates and sediment storage on the eastern Altiplano, Bolivia, using cosmogenic ^{10}Be, ^{26}Al, and in situ ^{14}C. **Geomorphology**, v. 179, p. 58–70, dez. 2012.

HRUBY, T.; CESANEK, W. E.; MILLER, K. E. Estimating relative wetland values for regional planning. **Wetlands**, v. 15, n. 2, p. 93–107, 1995.

HU SHENGJIE; NIU, Z.; CHEN, Y.; LI, L.; ZHANG, H. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. **Science of the Total Environment**, v. 586, p. 319–327, 2017.

IAEA, I. A. E. A. **Stable isotope hydrology: deuterium and oxygen-18 in the water cycle**. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1981.

IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD). Minas Gerais. **Bases Cartográficas digitais**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em:http://www.igam.mg.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=147. Acesso em 13 maio 2015.

IGLESIAS, M.; UHLEIN, A. Estratigrafia do Grupo Bambuí e coberturas fanerozóicas no vale do rio São Francisco, norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências,** São Paulo, v. 2, n. 39, p.256-266, jun. 2009.

INAU. **Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras:** Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável. Disponível em: <http://www.inau.org.br/homepage.php>. Acesso em: 21 fev. 2014.

IRGANG, B. E.; GASTAL JR., C. V. S. **Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS**. UFRGS, 1996.

IVAN BERGIER, I.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M.; ALHO, C. J. R.; SILVA, A.; GUERREIRO, R. L.; CARVALHO, J. C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of the Total Environment**, v. 619–620, p. 1116–1125, 2018.

JIA, H.; MA, H.; WEI, M. Urban wetland planning: A case study in the Beijing central region. **Ecological Complexity**, v. 8, n. 2, p. 213–221, jun. 2011.

JUNK, W. J. Freshwater fishes of South America: Their biodiversity, fisheries, and habitats—a synthesis. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 10, n. 2, p. 228–242, 8 jun. 2007.

JUNK, W. J., PIEDADE, M. T. F., SCHÖNGART, J., COHN-HAFT, M., ADENEY, J. M., WITTMANN, F. A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. **Wetlands**, v. 31, n. 4, p. 623-640, 2011.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences**, v. 106, n. 1, p. 110–127, 1989.

JUNK, W. J.; WANTZEN, K. M. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications - an update. **Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries Volumen II**, p. 117–149, 2004.

JUNK; W. J.; PIEDADE, M. T. F.; LOURIVAL, R.; WITTMANN, F.; KANDUS, P.; LACERDA, L. D.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; NUNES DA CUNHA, C; MALTCHIK, L.; SCHÖNGART, J.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; AGOSTINHO, A. A. Brazilian wetlands: their definition, delineation, and classification for research, sustainable management, and protection. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 24, n. 1, p. 5–22, 2014.

KRÖGER, R. Landscape hydrogeomorphic conditions determine structure and species composition of an ephemeral floodplain wetland. **Acta Ecologica Sinica**, v. 30, n. 5, p. 280–287, 2010.

LADEIRA, E. A.; BRITO, O. D. Contribuição à geologia do Planalto da Mata da Corda. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1968. p. 181-199.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; SINHA, R. Tropical rivers. **Geomorphology**, v. 70, n. 3–4, p. 187–206, set. 2005.

LIMA, A. C ; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A. de. Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio Pandeiros-MG. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais.** Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-12. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2020.

LIMA, A. C. P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas: bacia do rio Pandeiros-MG**. Dissertação de Mestrado 2019. 82f. Pós-Graduação de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

LISENBY, P. E.; TOOTH, S.; RALPH, T. J. Product vs. process? The role of geomorphology in wetland characterization. **Science of the Total Environment**, v. 663, p. 980–991, 2019.

LOPES, L. E.; NETO, S. D.; LEITE, L. O.; MORAES, L. L.; CAPURUCHO, J. M. G. Birds from Rio Pandeiros, southeastern Brazil: A wetland in an arid ecotone. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 18, n. 4, p. 267–282, 2010.

LOWRIE, W. **Fundamentals of Geophysics**. 2º ed. New York: Cambridge University Press, 2007.

LUNINA, O. V.; GLADKOV, A. S.; GLADKOV, A. A. Surface and shallow subsurface structure of the Middle Kedrovaya paleoseismic rupture zone in the Baikal Mountains from geomorphological and ground-penetrating radar investigations. **Geomorphology**, v. 326, p. 54-67, 2019.

MALTCHIK, L.; CALEFFI, V.; STENERT, C.; BATZER, D. P.; FERNANDEZ PIEDADE, M. T.; JUNK, W. J. Legislation for wetland conservation in Brazil: Are existing terms and definitions sufficient? **Environmental Conservation**, v. 45, n. 03, p. 301–305, 11 set. 2018.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V.; SILVA DIAS, P. L.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1–21, jan. 2012.

MARENT, B. R. **Mensuração dos processos desnudacionais a longo-termo (^{10}Be) na serra do mar no estado do Paraná: implicações para a evolução do relevo**. 2011. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MARTINELLI, L. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERRAZ, E. S.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B. DE; MOREIRA, M. Z. **Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MARTINS, R. M.; AMORIM, FERREIRA, M. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R; AZEVEDO, P. A. A. Relação entre forma da vertente, cobertura superficial e sítios geomorfológicos na bacia do ribeirão do Chiqueiro, depressão de Gouveia, Serra do Espinhaço Meridional – MG. **Geonomos**, v. 21, nº 2, p. 38-45, 2013.

MARTINS-NETO, M. A.; ALKMIM, F. F. Estratigrafia e evolução tectônica das bacias neoproterozóicas do paleocontinente São Francisco e suas margens: Registro da quebra de Rodínia e colagem de Gondwana. **Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais, SBG/Núcleo MG**, p. 31-54, 2001 *apud* MINAS GERAIS. CODEMIG. (b) **Mapa geológico Folha São Joaquim - SD.23-Y-D-III.** Belo Horizonte: CODEMIG, 2015. (Projeto Fronteiras de Minas). Escala 1:100.000.

MATTEUZZO, M. C. **Estudo ecológico de Metania spinata (Porifera) na Lagoa Verde, Minas Gerais, Brasil, e análise isotópica de oxigênio em espículas, visando interpretação paleoambiental**. 2014. 155 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2014.

MELO, M. S.; CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J. P.; SAADI, A.; MELLO, C. L. Processos e produtos morfogenéticos continentais. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Ed.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. Cap. 12. p. 258-275.

MENGATTO JUNIOR, E. A.; SILVA, J. DOS S. V. DA. Imagens de alta resolução (Rapideye) para elaboração de mapas para planejamento e gerenciamento: estrada parque do Pantanal, MS. **Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal - Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, p. 513–522, 2014.

MIAO, G.; NOORMETS, A.; DOMEC, J. C.; FUENTES, M.; TRETTIN, C. C.; SUN, G.; MCNULTY, S. G.; KING, J. S. Hydrology and microtopography control carbon dynamics in *wetland*s: Implications in partitioning ecosystem respiration in a coastal plain forested *wetland*. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 247, p. 343–355, 2017.

MIDDLETON, B. **Flood Pulsing in Wetlands: Restoring the Natural Hydrological Balance**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2002.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: *wetland*s and water synthesis**. Washington, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2019.

MINARDI, PAULO S P; BOMTEMPO, V. **Traçadores e técnicas isotópicas em hidrologia subterrânea: a experiência do CDTN/CNEN, Brasil**1 Joint World Congress on Gorundwater. **Anais**...2000.

MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG. (a) **Mapa geológico Folha São Francisco - SD.23-Z-C-IV.** Belo Horizonte: CODEMIG, 2015. (Projeto Fronteiras de Minas). Escala 1:100.000.

MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG. (b) **Mapa geológico Folha São Joaquim - SD.23-Y-D-III.** Belo Horizonte: CODEMIG, 2015. (Projeto Fronteiras de Minas). Escala 1:100.000.

MINAS GERAIS, CODEMIG-UFMG. (c) **Mapa geológico Folha Catolé SE.23-Z-C-I.** Belo Horizonte: CODEMIG, 2015. (Projeto Fronteiras de Minas). Escala 1:100.000.

MINAS GERAIS. **DECRETO Nº 43.910/2004 de 05/11/2004**. Cria o Refúgio estadual de vida silvestre do rio Pandeiros no município de Januária.

MISRA, K. C. **Introduction to geochemistry: principles and aplications**. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2012.

MITSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. **Wetlands**. 4. ed. [s. L.]: John Wiley & Sons, 2007.

MUDD, S. M.; HAREL, M. A.; HURST, M. D.; GRIEVE, S. W. D.; MARRERO, S. M.; MUDD, S. M. The CAIRN method: automated, reproducible calculation of catchment-averaged denudation rates from cosmogenic nuclide concentrations. **Earth Surf. Dynam**, v. 4, p. 655–674, 2016.

NAZAR, T. I. S. M. **O chapadão do diamante na serra da Canastra/MG, Brasil: caracterização geomorfológica e análise integrada do meio físico a partir de dados multifontes.** 2018. 270 f. Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

NEVES, W. V. **Avaliação da vazão em bacias hidrográficas com veredas, em diferentes estádios de conservação, na APA do rio Pandeiros - MG**. 2011. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2011.

NEVES, W. V.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, F. S. de. **Dinâmica hidrogeomorfológica em bacia de drenagem de vereda – MG.** Revista Equador (UFPI), Vol. 4, Nº 3, (2015). **Edição Especial XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Teresina- Piauí. Disponível em: http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador. Acesso em: 16 fev. 2020.

NEVES, W. V.; MENEZES, E. P.; OLIVEIRA, F. S. DE; AUGUSTIN, C. H. R. R.; ARANHA, P. R. A. Estudo das coberturas superficiais na interface cerrado-vereda no norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 3, 30 set. 2015.

NOGUEIRA, M. L.; ARANHA, P. R. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Estudo da dinâmica da água infiltrada com o auxílio de método geofísico - Gouveia, Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil. **Geografias**, v. 9, n. 2, p. 21–37, 2013.

NUNES, Y. R. F.; AZEVEDO, I. F. P.; NEVES, W. V.; VELOSO, M. D. M.; SOUZA, R. A.; FERNANDES, G. W. Pandeiros: o Pantanal Mineiro. **MG.Biota**, v. 2, n. 2, p. 4–17, 2009.

OLIVEIRA, D. A. **Áreas de preservação permanente em topo da Chapada e sua adequação à legislação federal**. 2013. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B.M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG. In: **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. Campinas: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP, 2017. p. 6253–6262.

OLIVEIRA, D. A.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; LIMA, A. C. P. Proposta preliminar de unidades hidrogeomorfológicas para o PRP – MG. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais.** Fortaleza: Editora UFC, 2019. p. 1-12. Disponível em: <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/490.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2020.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1980.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. DA; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 615–622, dez. 2007.

PESSENDA, L. C. R.; GOUVEIA, S. E. M.; FREITAS, H. A.; RIBEIRO, A. DE S.; ARAVENA, R.; BENDASSOLLI, J. A.; LEDRU, M. P.; SCHEELYBERT, R. Isótopos do carbono e suas aplicações em estudos paleoambientais. *In*: **Quartenário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, 2005. Cap. 4. p. 75-93.

PITTY, A. F. **The nature of Geomorphology**. London: Methuen & Co. Ltd. 1982. 161p.

PUPIM, F. DO N.; BIERMAN, P. R.; ASSINE, M. L.; ROOD, D. H.; SILVA, A.; MERINO, E. R. Erosion rates and landscape evolution of the lowlands of the Upper Paraguay river basin (Brazil) from cosmogenic ^{10}Be. **Geomorphology**, v. 234, p. 151–160, abr. 2015.

RADAMBRASIL, Projeto. Folha SD. 23: Brasília. **Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, Levantamento de recursos naturais**, v. 29, p. 644, 1982.

RAMSAR CONVENTION ON *WETLAND*S. **Global Wetland Outlook: State of the World's Wetlands and their Services to People**. Switzerland: 2018. Disponível em: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/flipbooks/ramsar_gwo_english_web.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2019.

REYNOLDS, J. M. **An introduction to applied and environmental geophysics**. 2. ed. [s.l.] Wiley-Blackwell, 2011.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe (Org.). **Cerrado:** ecologia e flora. Brasília: EMBRAPA, 2008. Cap. 6, p. 151-212.

RITTER, D. F. Landscape analysis and the search for geomorphology unity. **Geological Society of America Bulletin**, v. 100, p. 160-171. 1988.

RODRIGUES, B. H. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das condições geomorfológicas associadas à ocorrência de veredas no Norte de Minas Gerais. In: IX SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA (SINAGEO), 2012, Rio de Janeiro. **Anais do Simpósio Nacional de Geomorfologia.** Rio de Janeiro: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2012. p. 1 - 1. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/10/10-363-567.html>. Acesso em: 05 fev. 2016.

ROSA, L.; ALVES, M. C.; SANCHES, L. **Uso de composições de bandas do satélite Landsat 5 TM para caracterizar a dinâmica da variação de áreas alagadas do Pantanal mato-grossense.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. **Anais**...2011Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1189.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2017.

ROSOLEN, V.; DE OLIVEIRA, D. A.; BUENO, G. T. Vereda and Murundu wetlands and changes in Brazilian environmental laws: challenges to conservation. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 2, p. 285–292, 3 abr. 2015.

ROSOLEN, V.; HERPIN, U. Expansão dos solos hidromórficos e mudanças na paisagem: um estudo de caso na região Sudeste da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 483–490, 2008.

ROSOLEN, V.; TAITSON BUENO, G.; MUTEMA, M.; MOREIRA, C. A.; RODARTE, I.; JUNIOR, F.; NOGUEIRA, G.; CHAPLOT, V. On the link between soil hydromorphy and geomorphological development in the Cerrado (Brazil) wetlands. **Catena**, v. 176, p. 197–208, 2019.

SALES, H. R.; SOUZA, S. C. A.; LUZ, G. R.; MORAIS-COSTA, F.; AMARAL, V. B.; SANTOS, R. M.; VELOSO, M. D. M.; NUNES, Y. R. F. Flora arbórea de uma Floresta Estacional Decidual na APA Estadual do Rio Pandeiros, Januária/MG. **MG.Biota**, v. 2, n. 3, p. 31–41, 2009.

SALGADO, A. A. R., VARAJÃO, C. A. C., COLIN, F., BRAUCHER, R., VARAJÃO, A. F. D. C., JÚNIOR, H. A. N., BRINDUSA, C. B. Estimativa das Taxas de Erosão das Terras Altas da Alta Bacia do Rio Das Velhas no Quadrilátero Ferrífero: Implicações para A Evolução Do Relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, 2007.

SALGADO, A. A. R.; MARENT, B. R.; CHEREM, L. F. S.; BOURLÈS, D.; SANTOS, L. J. C.; BRAUCHER, R.; BARRETO, H. N. Denudation and retreat of the Serra do Mar escarpment in southern Brazil derived from in situ-produced ^{10}Be concentration in river sediment. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 39, n. 3, p. 311–319, 15 march. 2014.

SALGADO, A. A. R.; REZENDE, E. DE A.; BOURLÈS, D.; BRAUCHER, R.; SILVA, J. R. DA; GARCIA, R. A. Relief evolution of the Continental Rift of Southeast Brazil revealed by

in situ-produced ^{10}Be concentrations in river-borne sediments. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 67, p. 89–99, abr. 2016.

SALOMONS, W. Sediments in the Catchment-coast Continuum. **Journal of Soils and Sediments**, v. 5, n. 1, p. 2–8, 26 fev. 2005.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia,** São Paulo, v. 15, n. 1, p.47-60, jan. 2014. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php?journal=rbg&page=article&op=view&path;[]=376&path;[]=390>. Acesso em: 06 fev. 2016.

SANDI, S. G.; SACO, P. M.; SAINTILAN, N.; WEN, L.; RICCARDI, G.; KUCZERA, G.; WILLGOOSE, G.; RODRÍGUEZ, J. F. Detecting inundation thresholds for dryland wetland vulnerability. **Advances in Water Resources**, v. 128, p. 168–182, jun. 2019.

SANTOS, C. S. **Potencial regenerativo da vegetação ciliar do rio Pandeiros após diferentes tratamentos de restauração em uma área impactada pela bovinocultura**. 2016. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2016.

SANTOS, G. M.; GOMES, P. R. S.; YOKOYAMA, Y.; TADA, M. L. DI; CRESSWELL, R. G.; FIFIELD, L. K. Datação por ^{14}C utilizando espectrometria de massa com acelerador de partículas. **Revista de Física Aplicada e Instrumentação**, v. 14, n. 1, p. 18–26, 1999.

SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 75–90, 2015.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7º ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SCHEIDEGGER, A. E. Hydrogeomorphology. **Journal of Hydrology**, v. 20, p. 193–215, 1973.

SCHLUMBERGER WATER SERVICES. **M2.11.11.E**: Product Manual: Operating instructions. The Netherlands: Schlumberger Water Services, 2010.

SCOLFORO, J. R. **Mapeamento e inventário da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais**. Ed. UFLA, 2006.

SEER, H. J.; DE MORAES, L. C.; FOGAÇA, A. C. C. **Roteiro geológico para a região de Lagoa Formosa-Chumbo-Carmo do Parabaíba-MG**. SBG-Núcleo Minas Gerais, 1989.

SEMENIUK, C. A.; SEMENIUK, V. A geomorphic approach to global classification for inland wetlands. **Vegetatio**, v. 118, p. 103–124, 1995.

SIDLE, R. C.; ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 4, p. 597–602, mar. 2004.

SILIO-CALZADA, A.; BARQUÍN, J.; HUSZAR, V. L. M.; MAZZEO, N.; MÉNDEZ, F.; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, J. M. Long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland: Is it all about climate? **Science of the Total Environment**, v. 605-606, p. 527–540, 2017.

SILVA, S. B. **Métodos elétricos: fundamentos fenomenológicos e eletrorresistividade sobre contatos verticais**. 2018. 73 f. Monografia (Graduação em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

SILVEIRA, C.; FILHO, F.; MARTINS, E.; OLIVEIRA, J.; COSTA, A.; NOBREGA, M.; SOUZA, S.; SILVA, R. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 2, p. 416–428, 1 abr. 2016.

SOSA GONZALEZ, V.; BIERMAN, P. R.; FERNANDES, N. F.; ROOD, D. H. Long-term background denudation rates of southern and southeastern Brazilian watersheds estimated with cosmogenic 10Be. **Geomorphology**, v. 268, p. 54–63, set. 2016.

STRAHLER, A. N. The dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology**. Routledge, 2013.

SYVITSKI, J. P. M.; COHEN, S.; KETTNER, A. J.; BRAKENRIDGE, G. R. How important and different are tropical rivers? - An overview. **Geomorphology**, v. 227, p. 5–17, 2014.

TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. **Applide Geophysics**. 2ª ed. [s.l.] Cambridge University Press, 1990.

TOOTH, S. The geomorphology of wetlands in drylands: Resilience, nonresilience, or …? **Geomorphology**, v. 305, p. 33–48, mar. 2018.

TRICART, J.; CALLIEUX, A. **Introduction to Climatic Geomorphology**. London: Longman ED. 1972. 295 p.

TRINDADE, W. M. **Lagoas marginais do alto-médio curso do rio São Francisco: dinâmica hidrogeomorfológica, geocronologia e impactos ambientais**. 2016. 144 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

UCHA, J. M.; VILAS BOAS, G. S.; HADLICH, G. M. O uso do radar de penetração no solo na investigação dos processos de transformação pedogeomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 1, p. 85–96, 2010.

VARAJÃO, C. A. C.; SALGADO, A. A. R.; VARAJÃO, A. F. D. C.; BRAUCHER, R.; COLIN, F.; NALINI JR., H. A. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (^{10}Be) e da pedogênese. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, n. 3, p. 1409–1425, 2009.

VILES, H. Technology and geomorphology: Are improvements in data collection techniques transforming geomorphic science? **Geomorphology**, v. 270, p. 121–133, 2016.

WHITTECAR, G. R.; DOBBS, K. M.; STONE, S. A.; MCLEOD, J. M.; THORNTON, T. L.; SMITH, J. C. Use of the Effective Monthly Recharge model to assess long-term water-level fluctuations in and around groundwater-dominated wetlands. **Ecological Engineering**, v. 99, p. 462–472, 2017.

WITTMANN, H.; BLANCKENBURG, F. VON. Cosmogenic nuclide budgeting of floodplain sediment transfer. **Geomorphology**, v. 109, n. 3–4, p. 246–256, ago. 2009.

WITTMANN, H.; BLANCKENBURG, F. VON; MAURICE, L.; GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; KUBIK, P. W. Sediment production and delivery in the Amazon River basin quantified by in situ-produced cosmogenic nuclides and recent river loads. **Geological Society of America Bulletin**, v. 123, n. 5–6, p. 934–950, mai. 2011.

WRIGHT, R.L. An examination of the value of site analysis in field studies in tropical Australia. Stuttgart**, Zeitschrift der Geomorphologie**, v. 17, no 1, p.:157-183, 1973.

WU, H.; WU, J.; SONG, F.; ABUDUWAILI, J.; SAPAROV, A. S.; CHEN, X.; SHEN, B. Spatial distribution and controlling factors of surface water stable isotope values ($\delta^{18}O$ and $\delta^{2}H$) across Kazakhstan, Central Asia. **Science of the Total Environment**, v. 678, p. 53–61, 2019.

WU, X.; DONG, W.; LIN, X.; LIANG, Y.; MENG, Y.; XIE, W. Evolution of wetland in Honghe National Nature Reserve from the view of hydrogeology. **Science of The Total Environment**, v. 609, p. 1370–1380, dez. 2017.

YIN, S.; BAI, J.; WANG, W.; ZHANG, G.; JIA, J.; CUI, B.; LIU, X. Effects of soil moisture on carbon mineralization in floodplain wetlands with different flooding frequencies. **Journal of Hydrology**, v. 574, p. 1074–1084, jul. 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Quadro de referência para o início de fim do ano hidrológico

Mês		1º dia do mês	Último dia do mês
Janeiro	1	92	123
Fevereiro	2	124	151
Março	3	152	182
Abril	4	183	212
Maio	5	213	243
Junho	6	244	273
Julho	7	274	304
Agosto	8	305	335
Setembro	9	336	365
Outubro	10	1	31
Novembro	11	32	61
Dezembro	12	62	92

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE B - Resultados análise traçadores isotópicos ^{2}H e ^{18}O

LOCAL	AMOSTRAS FEVEREIRO / 2018				AMOSTRAS MARÇO / 2018			
	^{18}O		^{2}H		^{18}O		^{2}H	
	MÉDIA	IC (85%)	MÉDIA	IC (85%)	MÉDIA	IC (85%	MÉDIA	IC (85%)
1	-6,67	0,04	-50,47	1,90	-6,34	0,03	-29,31	2,19
2	-8,16	0,07	-56,40	1,81	-5,65	0,03	-32,80	1,11
3	-6,91	0,08	-46,16	2,37	-5,93	0,04	-39,95	1,11
4	-6,72	0,02	-49,83	2,34	-5,26	0,05	-31,16	0,76
5	-6,24	0,07	-39,91	2,38	-5,84	0,05	-30,26	0,55
6	-6,40	0,07	-48,96	0,13	-5,58	0,05	-34,83	0,47
7	-6,61	0,05	-49,30	2,17	-5,58	0,08	-38,12	1,84
8	-6,16	0,08	-50,57	2,18	-5,61	0,04	-38,05	1,09
9	-6,43	0,06	-43,64	1,80	-5,58	0,05	-44,14	1,42
10	-6,66	0,01	-72,42	1,69	-5,68	0,06	-38,22	0,98
11	-7,41	0,08	-74,79	1,82	-5,78	0,05	-41,87	0,56
12	-6,29	0,01	-70,38	1,05	-7,31	0,06	-44,52	1,03
13	-7,21	0,05	-57,04	3,00	-5,61	0,05	-34,25	1,19
14	-7,02	0,06	-33,63	2,35	-5,72	0,04	-30,90	0,80
15	-7,07	0,07	-79,72	1,47	-5,67	0,07	-30,86	0,33
16	-7,27	0,01	-56,79	1,67	-5,82	0,07	-40,71	1,15
17	-7,15	0,02	-76,87	1,78	-6,71	0,06	-32,30	0,26
18	-7,88	0,05	-76,87	1,74	-6,83	0,08	-40,49	1,22
19	-6,76	0,05	-74,17	0,80	-6,24	0,05	-44,80	1,07

Resultados das amostras de fevereiro e março de 2018.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE C - Resultados análise física da água na bacia do rio Pandeiros e no PRP

Amostra	pH		Temperatura (°C)		Cond. Elétrica (µS)		Turbidez (NTU)		Alcalinidade (mg/L $CaCO_3$)		Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)		Sílica (mg/L)	
	fev./17	out/17	fev./17	out/17	fev./17	out/17	fev./17	out/17	fev./17	out/17	fev./17	out/17	fev./17	out/17
1	7,3	8,1	23,4		159,0	95,2	173,0	1,5	46,0	48,0	97,8	5,2	17,2	18,5
2	7,5	8,2	18,9		58,0	66,2	18,4	1,6	32,0	35,0	61,0	5,7	17,3	17,3
3	7,4	8,3	20,6		58,0	67,9	13,8	1,2	31,0	35,0	63,0	4,2	17,0	17,8
4	7,4	8,0	19,8		61,4	74,0	229,0	1,1	31,0	39,0	59,0	5,1	13,8	16,9
5	7,1	7,9	19,0		54,4	75,4	126,0	1,3	28,0	39,0	55,0	5,4	13,9	17,5
6	8,9	7,6	19,4		44,6	71,8	138,0	1,7	23,0	38,0	49,0	4,9	6,9	17,5
7	6,6	7,6	20,3		58,9	72,6	9,4	2,1	32,0	40,0	52,0	5,1	12,7	16,7
8	6,6	7,7	21,2		60,6	77,9	4,8	1,6	30,0	38,0	55,0	5,0	13,4	16,6
9	7,3	7,6	20,2		42,9	82,0	17,2	1,5	35,0	39,0	58,0	4,9	15,5	16,4
10	6,9	7,3	20,0		60,2	77,0	11,2	1,3	40,0	39,0	52,0	9,6	11,4	15,8
11	7,1	7,2	20,3		52,1	61,9	2,6	2,6	30,0	32,0	48,0	4,7	12,0	8,8
12	6,9	7,1	19,5		60,5	89,7	4,6	1,3	30,0	43,0	57,0	5,6	13,1	16,2
13	6,9	7,2	22,3		55,7	87,2	4,6	1,3	30,0	43,0	54,0	6,7	14,6	16,1
14	7,3	7,7	21,3		49,6	89,8	280,0	1,5	22,0	32,0	41,0	5,1	5,7	8,8
15	7,1	7,6	20,5		51,2	86,2	245,0	2,9	26,0	32,0	46,0	5,4	8,3	9,2
16	7,4		19,5		64,0		25,4		25,0		49,0		8,0	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE D - Resultados análise da água no ICP em fevereiro de 2017

Amostra	Mg (ppm)			Al (ppm)			Ca (ppm)			Cr (ppm)			Fe (ppm)			Co (ppm)			Cu (ppm)			Cd (ppm)			Ti (ppm)			Mn (ppm)			Ni (ppm)			Zn (ppm)			Ba (ppm)			Pb (ppm)		
	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev
1	3,6700	0,0404	1,1020	0,0206	0,0418	202,6970	7,0400	1,0570	15,0100	0,0479	0,0280	58,3070	0,0015	0,0166	1083,5600	0,0046	0,0163	355,2950	0,0066	0,0093	141,1190	0,0028	0,0080	286,1260	0,0047	0,0040	9,4070	0,0234	0,0020	0,6640	0,0359	0,0238	66,2930	0,0008	0,0006	68,7730	0,0929	0,0036	3,8900	0,0373	0,0173	46,2730
2	2,5950	0,0759	2,9240	0,0603	0,0104	17,3230	4,4980	0,1806	4,0140	0,0479	0,0118	24,7110	0,0513	0,0171	33,4120	0,0046	0,0067	146,9230	0,0066	0,0014	21,7620	0,0028	0,0018	64,5280	0,0101	0,0019	18,7020	0,0234	0,0106	45,5800	0,0359	0,0099	27,5250	0,0008	0,0008	95,3260	0,0929	0,0061	6,5880	0,0373	0,0335	89,6640
3	2,1930	0,0062	0,2830	0,0206	0,0138	66,7110	4,3560	0,0014	0,0320	0,0479	0,0080	16,7770	0,0015	0,0000	2,6680	0,0046	0,0034	75,0380	0,0066	0,0017	26,3450	0,0028	0,0012	41,2490	0,0047	0,0061	11,8610	0,0234	0,0011	4,5370	0,0359	0,0114	31,7880	0,0008	0,0012	146,8850	0,0929	0,0028	2,9620	0,0373	0,0048	12,8560
4	2,1640	0,0902	4,1690	0,0206	0,0373	180,9070	5,6100	0,4116	7,3380	0,0479	0,0231	48,2630	0,0719	0,0029	4,0220	0,0046	0,0121	264,4920	0,0066	0,0055	83,5130	0,0028	0,0071	253,1100	0,0047	0,0023	49,7400	0,0234	0,0087	37,3830	0,0359	0,0054	15,0640	0,0008	0,0007	81,4190	0,0929	0,0087	9,4220	0,0373	0,0338	90,4700
5	2,6740	0,0153	0,5710	0,0206	0,0004	2,0570	6,6600	0,0786	1,1790	0,0479	0,0008	1,6270	0,0015	0,0010	64,3570	0,0046	0,0060	130,5470	0,0066	0,0005	7,0810	0,0028	0,0003	11,2280	0,0047	0,0002	4,2370	0,0234	0,0062	26,7010	0,0359	0,0132	36,8310	0,0008	0,0007	82,1970	0,0929	0,0176	18,9550	0,0373	0,0044	11,8920
6	1,9760	0,0164	0,8300	0,0206	0,0018	8,5850	6,0400	0,1392	2,3050	0,0479	0,0016	3,2600	0,0940	0,0022	2,3850	0,0046	0,0011	23,6150	0,0066	0,0006	8,5540	0,0028	0,0004	14,8910	0,0047	0,0006	12,7940	0,0234	0,0008	3,5000	0,0359	0,0159	44,2980	0,0008	0,0009	112,3520	0,0929	0,0025	2,6650	0,0373	0,0054	14,5600
7	1,8860	0,0035	0,1830	0,0206	0,0003	1,4010	4,6790	0,1114	2,3800	0,0479	0,0055	11,3810	0,0015	0,0029	189,9030	0,0046	0,0015	33,3140	0,0066	0,0022	33,5490	0,0028	0,0006	22,7810	0,0047	0,0025	53,5940	0,0234	0,0003	1,3270	0,0359	0,0024	6,5720	0,0008	0,0006	66,5360	0,0929	0,0097	10,4610	0,0373	0,0116	31,1940
8	2,1160	0,0421	1,9910	0,0625	0,0380	60,7800	3,0800	0,0209	0,6780	0,0479	0,0014	2,9900	0,0458	0,0208	45,4950	0,0046	0,0024	52,3450	0,0066	0,0005	7,0530	0,0028	0,0007	23,8710	0,0126	0,0026	20,9440	0,0234	0,0040	16,9950	0,0359	0,0154	43,0520	0,0008	0,0008	95,5500	0,0929	0,0114	12,2700	0,0373	0,0115	30,9140
9	1,6220	0,0012	0,0770	0,0206	0,0191	92,4060	4,8370	0,0315	0,6520	0,0479	0,0006	1,1840	0,0110	0,0213	193,7340	0,0046	0,0014	29,7870	0,0066	0,0003	4,3380	0,0028	0,0001	4,3650	0,0047	0,0025	52,9480	0,0234	0,0052	22,1460	0,0359	0,0118	33,0080	0,0008	0,0005	64,9800	0,0929	0,0040	4,2540	0,0373	0,0092	24,7480
10	2,2170	0,0001	0,0050	0,0206	0,0039	18,6900	6,4200	0,0387	0,6020	0,0479	0,0011	2,3060	0,0015	0,0027	177,5650	0,0046	0,0001	2,8600	0,0066	0,0003	4,9960	0,0028	0,0005	16,3800	0,0047	0,0009	20,1430	0,0234	0,0017	7,1000	0,0359	0,0177	49,3900	0,0008	0,0003	39,3960	0,0929	0,0089	9,5400	0,0373	0,0037	10,0030
11	2,0770	0,1081	5,2070	0,0206	0,0104	50,2870	6,2300	0,3582	5,7530	0,0479	0,0105	21,8280	0,1027	0,0061	5,9740	0,0046	0,0080	173,8840	0,0066	0,0039	59,0960	0,0028	0,0031	112,0410	0,0047	0,0009	18,6230	0,0234	0,0051	21,9550	0,0359	0,0171	47,6010	0,0008	0,0011	124,7060	0,0929	0,0172	18,5610	0,0373	0,0100	26,6740
12	2,1790	0,0131	0,6030	0,0206	0,0001	0,7150	6,8700	0,0109	0,1590	0,0479	0,0030	6,2210	0,0346	0,0030	8,8050	0,0046	0,0008	17,2270	0,0066	0,0008	11,8930	0,0028	0,0002	6,7780	0,0047	0,0003	7,4200	0,0234	0,0036	15,4820	0,0359	0,0037	10,4120	0,0008	0,0006	65,3690	0,0929	0,0114	12,3020	0,0373	0,0236	63,3140
13	1,3850	0,0119	0,8590	0,0206	0,0015	7,1840	4,1930	0,1047	2,4970	0,0479	0,0035	7,3820	0,0015	0,0017	108,5400	0,0046	0,0011	24,4320	0,0066	0,0000	0,3330	0,0028	0,0000	0,1200	0,0047	0,0003	6,2000	0,0234	0,0001	0,3730	0,0359	0,0172	47,9590	0,0008	0,0013	155,1530	0,0929	0,0025	2,7030	0,0373	0,0050	13,2630
14	1,9120	0,0320	1,6750	0,0206	0,0004	1,7590	5,0600	0,0596	1,1790	0,0479	0,0007	1,5140	0,0015	0,0003	17,3400	0,0046	0,0048	104,5450	0,0066	0,0011	16,1610	0,0028	0,0003	9,4650	0,0047	0,0005	9,8260	0,0234	0,0007	2,8460	0,0359	0,0147	41,0610	0,0008	0,0006	68,0920	0,0929	0,0017	1,8120	0,0373	0,0090	2,5190
15	1,5980	0,0180	1,1270	0,0206	0,0187	90,8560	4,6420	0,0479	1,0330	0,0479	0,0019	3,9660	0,0015	0,0068	446,4970	0,0046	0,0008	17,8720	0,0066	0,0005	7,4850	0,0028	0,0010	35,1220	0,0047	0,0009	18,8380	0,0234	0,0007	2,9730	0,0359	0,0044	12,1360	0,0008	0,0007	88,6170	0,0929	0,0081	8,7530	0,0373	0,0130	3,4080
16	1,3930	0,0028	0,1990	0,0206	0,0013	6,2600	4,2270	0,1046	2,4740	0,0479	0,0036	7,4660	0,0015	0,0065	423,4880	0,0046	0,0008	18,4310	0,0066	0,0001	1,7700	0,0028	0,0002	7,8220	0,0047	0,0009	19,3530	0,0234	0,0034	14,7000	0,0359	0,0042	11,6160	0,0008	0,0006	66,7300	0,0929	0,0069	7,4100	0,0373	0,0190	5,1870
Limite de detecção	**0,0005**			**0,0206**			**0,0179**			**0,0479**			**0,0015**			**0,0046**			**0,0066**			**0,0028**			**0,0047**			**0,0234**			**0,0359**			**0,0008**			**0,0929**			**0,0373**		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE E - Resultados análise da água no ICP em outubro de 2017

Amostra	Mg (ppm)			Al (ppm)			Ca (ppm)			Cr (ppm)			Fe (ppm)			Co (ppm)			Cu (ppm)			Cd (ppm)			Ti (ppm)			Mn (ppm)			Ni (ppm)			Zn (ppm)			Ba (ppm)			Pb (ppm)		
	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev	Average	Std Dev	RelStdDev
1	5,6900	0,3163	5,5590	0,0431	0,0005	1,2590	6,2400	0,1738	2,7870	0,0243	0,0096	39,3220	0,0042	0,0003	6,0770	0,0163	0,0050	30,4620	0,0058	0,0035	60,5650	0,0115	0,0009	7,8020	0,0057	0,0045	78,5400	0,0088	0,0040	45,3370	0,0389	0,0011	2,9240	0,0048	0,0017	35,2570	0,0498	0,0482	96,6650	0,0688	0,0074	10,7590
2	2,9880	0,0052	0,1740	0,0431	0,0162	37,4860	8,2800	0,2986	3,6060	0,0243	0,0099	40,7860	0,0042	0,0008	18,4370	0,0163	0,0056	34,4990	0,0058	0,0014	24,8390	0,0115	0,0007	5,8960	0,0057	0,0001	2,5150	0,0088	0,0158	180,1770	0,0389	0,0568	146,0020	0,0048	0,0000	0,0620	0,0498	0,0132	26,5330	0,0688	0,0309	44,9130
3	2,8510	0,0191	0,6690	0,0431	0,0114	26,4480	7,8200	0,1809	2,3130	0,0243	0,0058	23,8050	0,0042	0,0026	62,2860	0,0163	0,0046	28,1570	0,0058	0,0011	18,1980	0,0115	0,0001	0,5790	0,0057	0,0008	13,6390	0,0088	0,0029	33,2310	0,0389	0,0157	40,2440	0,0048	0,0008	17,7430	0,0498	0,0002	0,4870	0,0688	0,0373	54,2200
4	3,0640	0,0532	1,7360	0,0431	0,0112	26,0810	10,2400	0,6510	6,3590	0,0243	0,0094	38,5740	0,0042	0,0006	12,9820	0,0163	0,0033	20,4600	0,0058	0,0012	20,6310	0,0115	0,0027	23,7420	0,0057	0,0013	21,9270	0,0088	0,0061	69,5220	0,0389	0,0161	41,4170	0,0048	0,0005	9,5860	0,0498	0,0228	45,8130	0,0688	0,0027	3,8850
5	2,8200	0,0253	0,8980	0,0431	0,0003	0,8050	9,7500	0,1535	1,5750	0,0243	0,0017	7,0180	0,0042	0,0026	61,0430	0,0163	0,0030	18,5150	0,0058	0,0010	16,9190	0,0115	0,0008	6,6120	0,0057	0,0012	21,2640	0,0088	0,0068	77,0250	0,0389	0,0266	68,3080	0,0048	0,0007	14,6780	0,0498	0,0073	14,7420	0,0688	0,0104	15,0490
6	2,9400	0,0712	2,4220	0,0431	0,0068	15,8300	9,4600	0,0760	0,8030	0,0243	0,0052	21,4210	0,0042	0,0008	18,0920	0,0163	0,0054	33,0250	0,0058	0,0000	0,2360	0,0115	0,0032	27,4220	0,0057	0,0001	2,0010	0,0088	0,0034	38,9250	0,0389	0,0071	18,1940	0,0048	0,0004	8,8200	0,0498	0,0146	29,3120	0,0688	0,0387	56,2480
7	3,0010	0,0216	0,7190	0,0431	0,0093	21,5850	9,8200	0,0860	0,0880	0,0243	0,0042	17,0710	0,0042	0,0004	9,5980	0,0163	0,0012	7,4510	0,0058	0,0006	10,5640	0,0115	0,0006	4,7740	0,0057	0,0011	18,5200	0,0088	0,0093	106,5050	0,0389	0,0331	84,9760	0,0048	0,0006	12,5050	0,0498	0,0140	28,1350	0,0688	0,0017	2,5400
8	2,9820	0,0795	2,6670	0,0431	0,0128	29,7720	9,9000	0,2401	2,4260	0,0243	0,0078	32,0870	0,0042	0,0058	137,5550	0,0163	0,0019	11,5090	0,0058	0,0024	41,1750	0,0115	0,0005	3,9760	0,0057	0,0042	72,7780	0,0088	0,0058	65,8770	0,0389	0,0407	104,6790	0,0048	0,0013	26,5410	0,0498	0,0046	9,3260	0,0688	0,0103	14,9850
9	2,9440	0,0433	1,4710	0,0431	0,0001	0,2450	10,0200	0,2011	2,0060	0,0243	0,0185	75,9820	0,0042	0,0006	14,2940	0,0163	0,0101	61,8060	0,0058	0,0044	76,3540	0,0115	0,0009	8,0390	0,0057	0,0022	38,2640	0,0088	0,0043	48,6100	0,0389	0,0229	58,7550	0,0048	0,0011	22,7740	0,0498	0,0215	43,2070	0,0688	0,0126	18,2510
10	2,9640	0,1053	3,5510	0,0431	0,0044	10,1630	9,8700	0,4087	4,1390	0,0243	0,0134	54,8900	0,0042	0,0051	119,3250	0,0163	0,0025	15,2140	0,0058	0,0009	15,6530	0,0115	0,0012	10,7380	0,0057	0,0032	55,7320	0,0088	0,0009	10,3230	0,0389	0,0212	54,4160	0,0048	0,0018	37,9070	0,0498	0,0184	36,9740	0,0688	0,0145	21,1120
11	3,3610	0,0107	0,3170	0,0431	0,0094	21,7950	9,7700	0,6080	6,2220	0,0243	0,0109	44,6510	0,0042	0,0010	22,3730	0,0163	0,0045	27,3010	0,0058	0,0015	25,3980	0,0115	0,0002	1,5910	0,0057	0,0009	16,2570	0,0088	0,0026	29,8520	0,0389	0,0160	41,2120	0,0048	0,0012	24,3470	0,0498	0,0214	42,9870	0,0688	0,0066	9,5630
12	3,2590	0,0398	1,2200	0,0431	0,0057	13,1370	11,1700	0,0711	0,6360	0,0243	0,0003	1,3300	0,0042	0,0014	32,4550	0,0163	0,0029	17,5250	0,0058	0,0001	1,6010	0,0115	0,0011	9,8170	0,0057	0,0013	22,3730	0,0088	0,0084	95,4360	0,0389	0,0152	39,0710	0,0048	0,0001	2,2770	0,0498	0,0113	22,6080	0,0688	0,0295	42,8210
13	3,3610	0,0365	1,0860	0,0431	0,0090	20,9910	11,4400	0,0877	0,7660	0,0243	0,0034	13,9770	0,0042	0,0026	60,6290	0,0163	0,0038	23,4950	0,0058	0,0042	72,8660	0,0115	0,0035	30,6410	0,0057	0,0016	28,3520	0,0088	0,0026	29,9320	0,0389	0,0035	8,8830	0,0048	0,0001	3,1260	0,0498	0,0105	21,1170	0,0688	0,0038	5,4650
14	2,4410	0,0771	3,1580	0,0431	0,0092	21,4100	6,6900	0,1321	1,9750	0,0243	0,0115	47,3790	0,0042	0,0000	1,0360	0,0163	0,0003	1,5940	0,0058	0,0022	37,9720	0,0115	0,0012	10,2730	0,0057	0,0013	22,5790	0,0088	0,0049	55,9790	0,0389	0,0165	42,3670	0,0048	0,0002	4,3270	0,0498	0,0276	55,4680	0,0688	0,0252	36,5880
15	2,5460	0,0146	0,5740	0,0431	0,0050	11,5270	7,0000	0,0301	0,4310	0,0243	0,0019	7,6540	0,0042	0,0006	15,1920	0,0163	0,0007	4,5090	0,0058	0,0017	28,4390	0,0115	0,0003	2,9000	0,0057	0,0006	10,5410	0,0088	0,0098	111,6660	0,0389	0,0238	61,1010	0,0048	0,0006	11,7180	0,0498	0,0193	38,8260	0,0688	0,0399	57,9550
16																																										
Limite de detecção	**0,0042**			**0,0431**			**0,0411**			**0,0243**			**0,0042**			**0,0163**			**0,0058**			**0,0115**			**0,0057**		**0,00088**	**0,0088**			**0,0389**			**0,0048**			**0,0498**			**0,0688**		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE F - Resultado das análises físicas e químicas do Transecto T1w

	Profundidade	**Granulometria (g/kg)**												**Cátions trocáveis ($cmol_c\ dm^{-3}$)**					**Óxidos (g kg-1)**		
	(cm)	**Areia Grossa (2 – 0,2 mm)**	**Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)**	**Silte (0,05 – 0,002 mm)**	**Argila (< 0,002 mm)**	**Relação Silte/Argila**	**Textura**	**pH (H_2O)**	**pH (KCl)**	**Delta pH (KCl - H_2O)**	**Condutividade (µS)**	**Carbono Orgânico (g/kg)**	**Matéria Orgânica (g/kg)**	**Sódio (Na^+)**	**Potássio (K^+)**	**Cálcio (Ca^{2+})**	**Magnésio (Mg^{2+})**	**Alumínio (Al^{3+})**	**Ferro (Fe_2O_3)**	**Titânio (TiO_2)**	**Alumínio (Al_2O_3)**
Transecto 1w - Alto/Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Vicente Guedes - Perfil 1																					
HJ21	0	474,1	432,9	21,8	68,3	0,3	Arenosa	6,9	6,1	-0,8	146,9	4,0	7,0	0,612	4,193	5,000	1,600	0,100	6,776	0,032	7,981
HJ22	12	485,9	415,9	21,5	68,9	0,3	Arenosa	6,6	5,6	-0,9	86,6	1,8	3,1	0,122	0,898	3,200	1,000	0,200	6,776	0,026	20,984
HJ23	33	478,3	431,2	19,2	63,9	0,3	Arenosa	6,6	5,5	-1,1	56,0	1,3	2,2	0,122	0,499	2,700	0,300	0,200	3,872	0,004	9,997
HJ24	62	457,0	427,3	25,4	82,3	0,3	Arenosa	6,7	5,5	-1,2	56,3	0,9	1,5	0,122	0,166	2,000	0,600	0,200	5,808	0,042	24,975
Transecto 1w - Alto/Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Vicente Guedes - Perfil 2																					
HJ16	0	154,9	99,4	396,9	343,0	1,2	Média	8,1	7,6	-0,5	900	127,8	220,3	1,346	2,163	27,000	1,700	0,500	19,360	0,011	24,994
HJ17	7	53,1	20,4	297,7	595,2	0,5	Argilosa	7,8	7,0	-0,8	360	19,3	33,2	1,346	1,930	25,000	3,400	0,300	28,072	0,097	136,942
HJ18	20	238,6	51,2	243,7	438,8	0,6	Argilosa	7,2	6,6	-0,6	340	154,9	267,0	1,590	0,599	21,200	3,000	0,400	15,488	0,057	81,966
HJ19	31	115,4	24,0	330,5	504,9	0,7	Argilosa	7,0	6,3	-0,8	168,6	124,5	214,7	1,346	1,364	22,000	2,800	0,200	23,232	0,110	125,934
HJ20	39	368,6	110,9	134,8	355,4	0,4	Argilosa	6,7	6,1	-0,6	165,4	279,8	482,3	1,346	0,166	24,000	5,100	0,300	2,904	0,001	17,010
Transecto 1w - Alto/Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Vicente Guedes - Perfil 3																					
HJ12	0	215,6	82,5	276,5	385,9	0,7	Argilosa	7,5	7,2	-0,2	3340	226,4	390,3	7,463	15,474	39,400	0,600	0,300	39,688	0,066	45,960
HJ13	7	26,9	9,0	418,0	508,9	0,8	Argilosa	7,8	7,0	-0,8	560	12,3	21,2	3,793	1,930	19,900	3,100	0,200	36,784	0,184	68,890
HJ14	24	203,6	20,3	349,5	490,0	0,7	Argilosa	6,8	6,1	-0,7	155,2	79,7	137,4	1,590	0,832	20,400	2,500	0,300	20,328	0,163	123,903
HJ15	52	246,1	72,7	216,7	441,7	0,5	Argilosa	6,7	6,1	-0,6	250	105,3	181,5	1,101	0,799	20,700	2,000	0,300	2,904	0,001	26,003
Transecto 1w - Alto/Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Vicente Guedes - Perfil 4																					
HJ01	0	104,3	783,1	62,8	48,9	1,3	Arenosa	7,7	7,1	-0,6	380	8,6	14,9	0,367	13,444	7,100	2,600	1,100	7,744	0,032	13,981
HJ02	5	37,8	869,9	42,7	42,4	1,0	Arenosa	6,4	5,2	-1,2	49,5	2,1	3,6	0,122	2,130	3,300	1,700	0,200	9,680	0,045	21,973
HJ03	15	21,8	880,0	48,1	43,6	1,1	Arenosa	6,1	4,9	-1,2	166,7	1,1	1,9	0,122	0,832	2,200	1,800	0,300	6,776	0,063	13,962
HJ04	26	19,5	917,5	31,1	30,3	1,0	Arenosa	6,7	5,5	-1,3	52,7	0,6	1,0	0,122	0,732	1,900	0,900	0,100	7,744	0,042	9,975
HJ05	32	76,4	752,8	80,7	86,0	0,9	Arenosa	6,5	5,3	-1,3	68,2	3,8	6,5	1,101	1,198	4,500	1,900	0,200	12,584	0,060	33,964
HJ06	42	61,1	909,6	10,1	17,3	0,6	Arenosa	6,8	5,7	-1,1	30,1	0,5	0,9	0,122	0,166	1,200	0,900	0,300	8,712	0,004	2,997
HJ07	53	5,3	732,7	136,1	119,0	1,1	Média	6,6	5,5	-1,1	105,4	0,8	1,3	0,612	1,131	5,100	0,500	0,200	18,392	0,097	31,942
HJ08	60	6,8	852,9	68,6	66,1	1,0	Arenosa	6,7	5,8	-0,9	115,7	1,2	2,0	0,122	0,366	3,500	0,700	0,200	12,584	0,066	26,960
HJ09	66	17,7	659,7	195,8	119,7	1,6	Média	8,4	7,6	-0,8	198,7	1,2	2,0	1,101	0,832	7,600	1,600	0,001	20,328	0,147	41,912
HJ10	79	56,2	901,3	12,9	16,7	0,8	Arenosa	9,0	8,2	-0,9	63,9	0,2	0,3	0,367	0,067	2,100	1,000	0,001	6,776	0,045	9,973
HJ11	95	32,6	920,2	13,5	21,0	0,6	Arenosa	9,0	7,9	-1,1	45,7	0,5	0,8	0,122	0,067	1,900	1,200	0,001	4,840	0,076	9,955

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE G - Resultado das análises físicas e químicas do Transecto T2w

	Profundidade	**Granulometria (g/kg)**												**Cátions trocáveis ($cmol_c\ dm^{-3}$)**					**Óxidos (g kg-1)**		
	(cm)	**Areia Grossa (2 – 0,2 mm)**	**Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)**	**Silte (0,05 – 0,002 mm)**	**Argila (< 0,002 mm)**	**Relação Silte/Argila**	**Textura**	**pH (H2O)**	**pH (KCl)**	**Delta pH (KCl - H_2O)**	**Condutividade (µS)**	**Carbono Orgânico (g/kg)**	**Matéria Orgânica (g/kg)**	**Sódio (Na^+)**	**Potássio (K^+)**	**Cálcio (Ca^{2+})**	**Magnésio (Mg^{2+})**	**Alumínio (Al^{3+})**	**Ferro (Fe_2O_3)**	**Titânio (TiO_2)**	**Alumínio (Al_2O_3)**
Transecto 2w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fundos da Fazenda Agropop - Perfil 1																					
GJ01	0	284,4	74,8	98,7	552,6	0,2	Argilosa	6,4	5,7	-0,7	570	428,3	738,4	1,590	21,430	32,229	5,389	0,400	24,200	0,094	113,943
GJ02	5	739,3	8,7	39,2	200,6	0,2	Média	5,9	5,4	-0,5	1110	347,5	599,3	3,059	9,783	30,800	7,100	0,500	26,136	0,101	117,940
GJ03	11	62,0	25,8	107,7	767,1	0,1	Muito Argilosa	6,2	5,4	-0,8	330	104,6	180,4	1,590	4,293	23,420	0,829	0,300	31,944	0,246	190,852
GJ04	30							5,9	5,4	-0,5	300	351,5	606,0	1,346	3,161	16,166	1,865	0,400			
GJ05	48							5,9	5,6	-0,3	540	373,7	644,3	0,612	2,263	30,260	1,027	0,500	12,584	0,128	114,923
Transecto 2w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fundos da Fazenda Agropop - Perfil 2																					
GJ06	0	78,2	23,2	221,6	702,1	0,3	Muito Argilosa	5,6	5,0	-0,7	920,0	17,0	29,4	1,346	15,407	21,100	13,355	0,300	40,656	0,088	141,947
GJ07	5	13,6	21,4	336,9	598,1	0,6	Argilosa	6,9	4,7	-2,2	780,0	12,7	21,8	1,590	3,361	19,690	4,974	0,400	64,856	0,280	176,832
GJ08	48	17,2	95,0	287,1	551,1	0,5	Argilosa	5,9	4,9	-1,0	151,3	20,6	35,5	1,101	2,296	23,939	4,972	0,200	68,728	0,321	163,808
GJ09	60	20,2	153,9	347,1	483,4	0,7	Argilosa	5,8	5,2	-0,6	114,3	14,9	25,8	0,367	3,527	21,900	5,700	0,500	86,152	0,280	151,832
Transecto 2w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fundos da Fazenda Agropop - Perfil 3																					
GJ10	0	36,8	658,3	177,6	108,4	1,6	Média	6,9	6,3	-0,7	500,0	11,5	19,8	0,367	12,578	19,500	3,074	0,300	12,584	0,097	19,942
GJ11	5	8,3	835,0	110,5	50,5	2,2	Arenosa	7,2	5,8	-1,4	76,2	10,6	18,3	0,612	2,196	6,321	5,560	0,300	10,648	0,057	3,966
GJ12	19	6,4	926,1	36,8	22,9	1,6	Arenosa	8,1	6,0	-2,1	39,1	0,1	0,2	0,122	0,499	4,767	4,738	1,200	6,776	0,029	15,982
GJ13	33	7,2	542,3	248,3	179,9	1,4	Média	6,9	5,9	-1,0	155,0	3,0	5,2	1,346	2,662	11,192	3,758	0,001	30,008	0,101	59,940
GJ14	47	3,6	820,6	135,4	55,0	2,5	Arenosa	8,2	7,1	-1,2	73,8	0,8	1,3	1,346	1,298	7,254	2,845	0,200	13,552	0,057	30,966
GJ15	59	20,5	944,1	13,9	26,6	0,5	Arenosa	7,7	6,0	-1,7	37,1	0,6	1,0	1,101	0,566	4,456	2,970	0,300	6,776	0,042	7,975
GJ16	90	23,2	932,7	21,5	20,4	1,1	Arenosa	7,3	5,6	-1,7	40,9	0,6	1,0	0,122	0,599	5,182	2,343	0,500	7,744	0,026	12,984
GJ17	120	11,4	515,9	268,0	246,8	1,1	Média	5,4	3,7	-1,7	61,7	13,8	23,8	0,122	2,296	7,565	2,633	1,900	28,072	0,110	73,934
GJ18	160	33,4	331,7	245,6	339,7	0,7	Média	5,6	4,0	-1,6	86,2	6,1	10,6	1,346	3,660	11,088	3,420	0,400	41,624	0,212	112,873

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE H - Resultado das análises físicas e químicas do Transecto T3w

	Profundidade	Granulometria (g/kg)												Cátions trocáveis ($cmol_c\ dm^{-3}$)					Óxidos (g kg-1)		
	(cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (< 0,002 mm)	Relação Silte/Argila	Textura	pH (H2O)	pH (KCl)	Delta pH (KCl - H_2O)	Condutividade (µS)	Carbono Orgânico (g/kg)	Matéria Orgânica (g/kg)	Sódio (Na^+)	Potássio (K^+)	Cálcio (Ca^{2+})	Magnésio (Mg^{2+})	Alumínio (Al^{3+})	Ferro (Fe_2O_3)	Titânio (TiO_2)	Alumínio (Al_2O_3)
Transecto 3w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Agropop - Perfil 1																					
GJ19	0	423,2	479,1	24,6	54,1	0,5	Arenosa	6,7	4,6	-2,1	59,0	1,9	3,2	0,001	0,998	6,300	0,300	0,400	9,680	0,079	21,953
GJ20	18	418,2	476,5	17,0	82,9	0,2	Arenosa	5,7	4,4	-1,3	40,8	1,3	2,3	0,122	0,433	4,145	1,795	0,500	10,648	0,070	29,958
GJ21	51	366,7	515,9	16,7	85,1	0,2	Arenosa	5,7	4,6	-1,1	45,1	0,7	1,3	0,122	0,133	5,000	1,800	0,100	9,680	0,048	31,971
GJ22	87	345,7	525,3	16,1	68,1	0,2	Arenosa	5,3	4,7	-0,7	89,1	0,4	0,7	0,122	0,100	4,663	1,036	0,300	11,616	0,032	33,981
Transecto 3w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Agropop - Perfil 2																					
GJ23	0	509,5	398,5	31,5	53,5	0,6	Arenosa	5,5	5,2	-0,4	126,8	26,4	45,6	0,122	2,995	7,000	1,400	0,200	5,808	0,020	8,988
GJ24	12	450,3	424,9	28,2	75,6	0,4	Arenosa	5,5	5,2	-0,4	57,7	9,2	15,8	0,122	0,599	5,400	2,500	0,200	7,744	0,060	25,964
GJ25	39	427,8	459,2	10,2	86,4	0,1	Arenosa	4,7	5,1	0,4	41,3	4,3	7,4	0,122	0,799	1,400	0,800	0,200	9,680	0,054	29,968
GJ26	105	400,2	461,1	17	104,3	0,2	Arenosa	6,2	4,9	-1,3	46,2	0,7	1,2	0,122	0,166	5,000	2,500	0,200	11,616	0,063	32,962
Transecto 3w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Agropop - Perfil 3																					
GJ27	0	296,3	174,0	367,8	169,7	2,2	Média	6,9	6,2	-0,7	390,0	32,0	55,2	1,590	2,828	22,500	2,500	0,001	29,040	0,048	36,971
GJ28	6	739,3	8,7	39,2	200,6	0,2	Média	7,1	6,4	-0,7	192,4	11,0	19,0	1,590	1,863	15,100	3,900	0,001	20,328	0,054	22,968
GJ29	18	708,5	167,7	42,7	82,9	0,5	Arenosa	7,2	6,6	-0,6	144,2	4,9	8,4	1,590	0,865	8,200	1,300	0,001	6,776	0,014	16,992
GJ30	26	787,1	169,0	10,7	34,5	0,3	Arenosa	7,8	6,8	-1,1	54,2	0,3	0,5	0,122	0,166	5,500	1,100	0,100	4,840	0,008	9,995
GJ31	41	756,0	207,5	14,0	15,8	0,9	Arenosa	7,6	6,2	-1,4	55,6	0,4	0,7	0,122	0,100	4,200	2,600	0,500	2,904	0,001	4,008
GJ32	91	648,3	206,4	16,1	126,1	0,1	Arenosa	7,7	6,7	-1,0	76,5	1,1	1,9	0,122	0,632	5,900	2,500	0,400	3,872	0,051	39,969
Transecto 3w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Agropop - Perfil 4																					
GJ33	0	558,3	376,2	14,3	39,4	0,4	Arenosa	6,8	5,2	-1,6	63,1	1,5	2,6	0,122	1,897	6,200	1,700	0,500	4,840	0,017	12,990
GJ34	18	492,4	439,2	21,1	42,9	0,5	Arenosa	7,4	5,2	-2,3	47,7	2,0	3,5	0,122	0,632	5,100	1,100	0,200	4,840	0,004	17,997
GJ35	59	527,1	395,2	18,4	54,8	0,3	Arenosa	7,1	4,9	-2,2	43,3	1,1	1,9	0,122	0,333	3,900	2,900	0,400	9,680	0,011	19,994
Transecto 3w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Agropop - Perfil 5																					
GQ01	0	505,5	393,4	59,0	36,8	1,6	Arenosa	6,3	6,3	-0,1	137,7	10,6	18,2	0,612	3,128	13,000	1,400	0,001	3,872	0,008	25,995
GQ02	7	460,4	465,3	18,8	7,9	2,4	Arenosa	6,6	6,1	-0,6	51,6	1,3	2,2	0,122	0,133	5,700	3,400	0,300	2,904	0,023	18,986
GQ03	48	399,6	418,1	51,9	157,0	0,3	Arenosa	6,5	5,6	-0,9	30,1	1,2	2,0	0,612	0,266	6,100	2,900	0,300	7,744	0,057	43,966
GQ04	77	411,0	458,5	49,4	95,4	0,5	Arenosa	6,2	5,4	-0,9	34,1	0,4	0,8	0,122	0,133	5,200	2,000	0,300	4,840	0,014	23,992
Transecto 3w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Agropop - Perfil 6																					
GQ05	0	286,1	610,9	46,6	47,6	1,0	Arenosa	5,8	5,2	-0,5	360,0	17,3	29,9	0,122	5,391	11,700	4,300	0,200	5,808	0,048	17,971
GQ06	14	270,6	648,3	22,1	48,8	0,5	Arenosa	6,3	5,7	-0,6	77,7	3,7	6,4	0,122	1,198	5,400	1,900	0,300	31,944	0,073	18,956
GQ07	27	253,0	660,0	23,7	55,3	0,4	Arenosa	6,2	5,4	-0,8	50,7	1,6	2,8	0,122	3,195	6,114	1,312	0,300	11,616	0,060	19,964
GQ08	50	238,8	658,5	24,2	68,7	0,4	Arenosa	6,3	5,4	-0,9	43,5	0,7	1,2	0,122	0,366	4,700	1,900	0,300	7,744	0,079	28,953
GQ09	88	228,2	658,3	29,2	78,7	0,4	Arenosa	6,4	5,4	-0,9	24,4	0,7	1,2	0,122	0,333	4,500	2,200	0,200	6,776	0,057	21,966
Transecto 3w - Alto Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Agropop - Perfil 7																					
GQ10	0	774,3	89,1	40,0	67,3	0,6	Arenosa	5,9	5,5	-0,3	2370,0	486,9	839,4	1,346	5,324	38,500	1,100	0,200	14,520	0,057	34,966
GQ11	17	740,2	166,2	19,6	77,1	0,3	Arenosa	6,1	5,7	-0,4	300,0	69,7	120,2	1,590	0,998	21,100	2,900	0,500	7,744	0,029	12,982
GQ12	25	610,3	356,1	8,3	20,9	0,4	Arenosa	6,2	5,9	-0,2	105,4	3,9	6,7	0,122	0,001	7,100	2,000	0,400	3,872	0,011	3,994
GQ13	63	414,2	556,1	8,7	17,6	0,5	Arenosa	6,4	6,0	-0,4	62,4	4,2	7,2	0,122	0,100	5,800	3,200	0,200	4,840	0,001	4,999

APÊNDICE I - Resultado das análises físicas e químicas do Transecto T4w

	Profundidade	Granulometria (g/kg)												Cátions trocáveis ($cmol_c\ dm^{-3}$)					Óxidos (g kg-1)		
	(cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (< 0,002 mm)	Relação Silte/Argila	Textura	pH (H2O)	pH (KCl)	Delta pH (KCl - H_2O)	Condutividade (µS)	Carbono Orgânico (g/kg)	Matéria Orgânica (g/kg)	Sódio (Na^+)	Potássio (K^+)	Cálcio (Ca^{2+})	Magnésio (Mg^{2+})	Alumínio (Al^{3+})	Ferro (Fe_2O_3)	Titânio (TiO_2)	Alumínio (Al_2O_3)
Transecto 4w - Médio Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Seu Pedro - Perfil 1																					
GQ27	0	360,7	550,3	20,2	59,8	0,3	Arenosa	4,7	3,9	-0,8	107,8	2,2	3,8	0,122	0,799	0,600	2,200	1,300	6,776	0,023	20,986
GQ28	13	354,6	550,2	23,1	60,4	0,4	Arenosa	4,3	4,0	-0,3	35,1	1,6	2,8	0,122	0,632	3,900	2,600	1,300	7,744	0,035	23,979
GQ29	24	353,6	561,3	24,7	54,3	0,5	Arenosa	4,4	4,1	-0,3	21,8	1,3	2,2	0,122	0,299	5,000	0,500	0,900	8,712	0,032	18,981
GQ30	42	359,6	551,2	5,4	65,0	0,1	Arenosa	4,5	4,2	-0,2	17,6	1,7	3,0	0,122	0,166	0,700	0,600	0,700	7,744	0,020	16,988
GQ31	120	383,0	533,9	13,7	16,7	0,8	Arenosa	4,6	4,2	-0,4	14,0	0,6	1,0	0,122	0,133	0,600	0,700	0,800	5,808	0,029	14,982
Transecto 4w - Médio Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Seu Pedro - Perfil 2																					
GQ32	0	554,3	332,7	16,0	74,5	0,2	Arenosa	5,3	4,9	-0,5	107,7	20,6	35,5	0,122	15,474	7,500	2,500	0,200	11,616	0,039	24,977
GQ33	5	424,1	469,2	9,5	84,8	0,1	Arenosa	7,5	4,8	-2,7	97,3	35,5	61,2	0,122	12,712	2,200	1,400	0,200	12,584	0,060	30,964
GQ34	24	480,7	429,3	14,2	65,6	0,2	Arenosa	6,5	4,5	-2,0	49,7	11,1	19,2	0,122	15,939	3,800	2,400	0,300	10,648	0,011	19,994
GQ35	65	357,7	553,9	16,7	55,4	0,3	Arenosa	6,3	4,7	-1,6	22,0	0,7	1,1	0,122	12,978	3,900	3,100	0,200	11,616	0,011	14,994
Transecto 4w - Médio Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Seu Pedro - Perfil 3																					
GQ36	0	17,2	557,4	195,1	231,2	0,8	Média	5,8	5,5	-0,3	440,00	12,5	21,5	0,122	3,294	13,200	0,100	0,100	30,008	0,097	72,942
GQ37	14	305,6	645,2	16,6	24,7	0,7	Arenosa	6,0	5,8	-0,2	52,4	0,8	1,3	0,122	0,466	5,700	0,900	0,400	8,712	0,004	6,997
GQ38	33	4,5	865,9	56,4	52,1	1,1	Arenosa	6,1	5,8	-0,3	68,2	1,4	2,5	0,612	0,666	4,100	0,700	0,200	12,584	0,001	27,999
GQ39	42	14,9	934,3	26,7	39,9	0,7	Arenosa	6,3	6,0	-0,3	54,5	0,8	1,3	0,122	0,333	4,700	3,500	0,300	15,488	0,001	5,007
GQ40	57	34,8	864,4	19,4	34,6	0,6	Arenosa	6,4	6,0	-0,4	94,7	2,0	3,4	0,612	0,765	3,700	0,700	0,200	11,616	0,011	21,994
GQ41	66	17,4	940,6	12,3	40,1	0,3	Arenosa	6,6	5,9	-0,6	63,6	0,7	1,1	0,367	0,299	2,500	1,700	0,300	6,776	0,011	5,994
GQ42	77	78,5	675,5	79,0	115,1	0,7	Média	5,9	5,5	-0,5	106,0	5,6	9,6	1,101	1,697	11,800	1,600	0,400	31,944	0,091	76,945
GQ43	81	21,2	613,3	100,9	214,8	0,5	Média	6,3	5,6	-0,7	94,3	7,1	12,2	1,346	1,198	10,300	1,400	0,200	27,104	0,128	73,923
GQ44	97	11,6	863,4	58,9	27,5	2,1	Arenosa	6,6	5,6	-1,0	52,5	0,7	1,1	1,101	0,333	6,000	2,400	0,200	9,680	0,073	24,956
GQ45	121	4,5	565,3	214,1	239,3	0,9	Média	6,7	4,7	-2,1	66,8	2,6	4,4	7,707	0,998	11,400	3,200	0,200	23,232	0,122	62,927
Transecto 4w - Médio Pântano do rio Pandeiros - Fazenda Seu Pedro - Perfil 4																					
GQ46	0	245,5	678,8	9,4	30,5	0,3	Arenosa	6,0	5,7	-0,4	680,0	10,5	18,0	0,122	4,792	6,800	0,200	0,200	9,680	0,026	15,984
GQ47	10	10,0	959,9	7,7	0,6	12,8	Arenosa	6,1	5,6	-0,5	91,4	1,3	2,3	0,122	0,599	5,000	3,900	0,200	5,808	0,011	6,994
GQ48	28	52,8	886,8	21,1	3,3	6,4	Arenosa	6,1	4,7	-1,4	32,7	2,1	3,6	0,122	0,666	5,300	1,900	0,200	9,680	0,020	6,988
GQ49	37	103,3	889,8	47,9	3,1	15,5	Arenosa	8,8	5,3	-3,6	31,0	0,1	0,2	0,122	0,233	1,300	0,900	0,300	4,840	0,017	7,990

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE J - Resultados das análises físicas e químicas do Transecto T5w

	Profundidade	Granulometria (g/kg)												Cátions trocáveis ($cmol_c\ dm^{-3}$)					Óxidos (g kg-1)		
	(cm)	Areia Grossa (2 – 0,2 mm)	Areia Fina (0,2 – 0,05 mm)	Silte (0,05 – 0,002 mm)	Argila (< 0,002 mm)	Relação Silte/Argila	Textura	pH (H_2O)	pH (KCl)	Delta pH (KCl - H_2O)	Condutividade (µS)	Carbono Orgânico (g/kg)	Matéria Orgânica (g/kg)	Sódio (Na^+)	Potássio (K^+)	Cálcio (Ca^{2+})	Magnésio (Mg^{2+})	Alumínio (Al^{3+})	Ferro (Fe_2O_3)	Titânio (TiO_2)	Alumínio (Al_2O_3)
Transecto 5w - Baixo Pântano do rio Pandeiros - Lagoa seca - Perfil 1																					
GQ14	0	546,3	403,9	9,9	36,0	0,3	Arenosa	7,5	5,1	-2,4	73,2	6,5	11,3	0,122	3,660	5,700	3,112	0,200	4,840	0,011	9,994
GQ15	5	528,6	423,6	52,7	10,9	4,8	Arenosa	6,1	5,0	-1,1	73,5	2,5	4,2	0,122	1,265	6,218	1,406	0,300	4,840	0,001	7,999
GQ16	14	526,9	417,7	4,1	42,3	0,1	Arenosa	5,8	4,5	-1,3	44,2	1,0	1,7	0,122	0,666	3,938	6,557	0,300	4,840	0,029	14,982
GQ17	53	510,8	404,3	7,0	65,5	0,1	Arenosa	5,5	4,6	-0,9	32,5	0,7	1,1	0,122	0,566	4,352	2,083	0,100	6,776	0,004	21,997
GQ18	91	533,9	334,4	12,6	107,7	0,1	Arenosa	5,6	4,6	-1,0	24,3	0,7	1,2	0,122	0,632	4,042	2,196	0,300	8,712	0,045	32,973
Transecto 5w - Baixo Pântano do rio Pandeiros - Lagoa seca - Perfil 2																					
GQ19	0	560,5	238,6	41,2	111,5	0,4	Arenosa	5,6	4,1	-1,5	37,4	4,8	8,2	0,122	3,893	6,321	2,292	1,000	14,520	0,054	37,968
GQ20	10	603,2	244,0	20,6	87,1	0,2	Arenosa	5,8	4,0	-1,9	39,5	2,1	3,6	0,122	1,597	4,871	1,565	0,900	7,744	0,048	41,971
GQ21	30	599,0	246,7	12,2	97,9	0,1	Arenosa	6,2	4,0	-2,3	29,7	1,5	2,6	0,122	1,065	4,249	2,979	1,800	10,648	0,076	37,955
GQ22	48	562,4	281,6	14,5	101,1	0,1	Arenosa	6,8	3,9	-2,9	20,7	1,3	2,2	0,122	0,632	3,627	1,918	1,800	10,648	0,082	32,951
Transecto 5w - Baixo Pântano do rio Pandeiros - Lagoa seca - Perfil 3																					
GQ23	0	53,8	43,0	356,0	536,8	0,7	Argilosa	5,0	3,8	-1,2	94,9	14,2	24,4	4,527	10,582	12,021	5,009	2,400	42,592	0,184	160,890
GQ24	7	36,5	19,4	311,4	592,9	0,5	Argilosa	4,5	3,4	-1,1	155,5	8,1	13,9	1,101	3,261	12,228	5,395	6,200	32,912	0,187	191,888
GQ25	20	10,0	10,5	311,6	681,4	0,5	Argilosa	4,8	3,1	-1,7	34,9	16,7	28,8	0,122	3,028	6,943	3,651	12,100	31,944	0,231	196,862
GQ26	61	4,2	5,4	405,8	566,5	0,7	Argilosa	5,1	3,3	-1,8	104,2	4,1	7,0	0,612	2,695	6,736	4,353	15,000	41,624	0,191	190,886
Transecto 5w - Baixo Pântano do rio Pandeiros - Lagoa seca - Perfil 4																					
HJ25	0	6,5	25,5	344,3	584,9	0,6	Argilosa	5,1	3,8	-1,3	142,6	9,3	16,1	1,346	10,782	15,545	4,560	1,400	76,472	0,156	147,906
HJ26	21	14,0	59,7	341,5	543,9	0,6	Argilosa	5,0	3,8	-1,2	260	9,1	15,8	0,122	10,615	17,410	2,887	1,100	51,304	0,181	157,891
HJ27	37	7,7	17,0	284,1	651,7	0,4	Muito argilosa	5,2	3,8	-1,4	82,6	5,1	8,8	0,367	8,452	15,441	3,005	1,300	30,008	0,209	191,875
HJ28	70	9,1	21,1	316,8	609,1	0,5	Muito argilosa	5,0	3,6	-1,4	68,8	4,5	7,7	0,612	8,452	18,550	1,252	2,000	52,272	0,169	178,899
Transecto 5w - Baixo Pântano do rio Pandeiros - Lagoa seca - Perfil 5																					
HJ29	0	12,2	16,1	323,9	600,9	0,5	Muito argilosa	5,3	4,1	-1,3	139,5	10,3	17,7	1,346	13,011	16,166	4,663	1,000	48,400	0,138	164,917
HJ30	4	3,2	87,3	386,5	502,9	0,8	Argilosa	5,8	4,1	-1,8	55,8	4,3	7,5	0,612	2,496	15,752	4,145	0,500	43,560	0,253	180,849
HJ31	21	2,5	27,2	507,9	437,6	1,2	Argilosa	6,7	4,6	-2,1	60,7	3,6	6,2	3,059	1,797	23,420	0,936	0,200	39,688	0,240	187,856

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE K - Resultados da taxa de desnudação média por bacia hidrográfica utilizando o nuclídeo cosmogênico ^{10}Be com valores de densidade de geocobertura de 2,5 g/cm^{-3}

Erosion rate calculator v3 results

Online erosion rate calculator v3 results

Version info:

wrapper: 3.0
erates: 3.0
muons: 3.0-dev
validate: validate_v3_input.m - 3.0
consts: 3.0.4

Diagnostics:

Erosion rate results:

Sample name	Nuclide	St				Lm				LSDn			
		Erosion rate (g/cm2/yr)	Erosion rate (m/Myr)	Internal uncert (m/Myr)	External uncert (m/Myr)	Erosion rate (g/cm2/yr)	Erosion rate (m/Myr)	Internal uncert (m/Myr)	External uncert (m/Myr)	Erosion rate (g/cm2/yr)	Erosion rate (m/Myr)	Internal uncert (m/Myr)	External uncert (m/Myr)
CATFOZ13	Be-10 (qtz)	0.00244	10.6	0.187	0.883	0.00283	12.2	0.215	0.968	0.00247	10.7	0.188	0.677
PANMON7	Be-10 (qtz)	0.0147	69.8	1.98	5.89	0.015	71.3	2.03	5.75	0.0137	65	1.85	4.28
PANFOZ9	Be-10 (qtz)	0.0112	49.1	1.45	4.17	0.0117	51.3	1.52	4.16	0.0106	46.1	1.37	3.06
PARFOZ2	Be-10 (qtz)	0.0126	55.1	1.62	4.67	0.0131	57	1.68	4.62	0.0118	51.4	1.51	3.41
PERUFOZ5	Be-10 (qtz)	0.00212	9.62	0.165	0.806	0.00247	11.2	0.192	0.891	0.00216	9.81	0.168	0.623
PINFOZ11	Be-10 (qtz)	0.00175	7.56	0.162	0.645	0.00207	8.92	0.189	0.72	0.00179	7.7	0.164	0.503

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE L - Resultados da taxa de desnudação média por bacia hidrográfica utilizando o nuclídeo cosmogênico ^{10}Be com valores de densidade de geocobertura individualizados para cada sub-bacia hidrográfica

Erosion rate calculator v3 results

Online erosion rate calculator v3 results

Version info:

wrapper: 3.0
erates: 3.0
muons: 3.0-dev
validate: validate_v3_input.m - 3.0
consts: 3.0.4

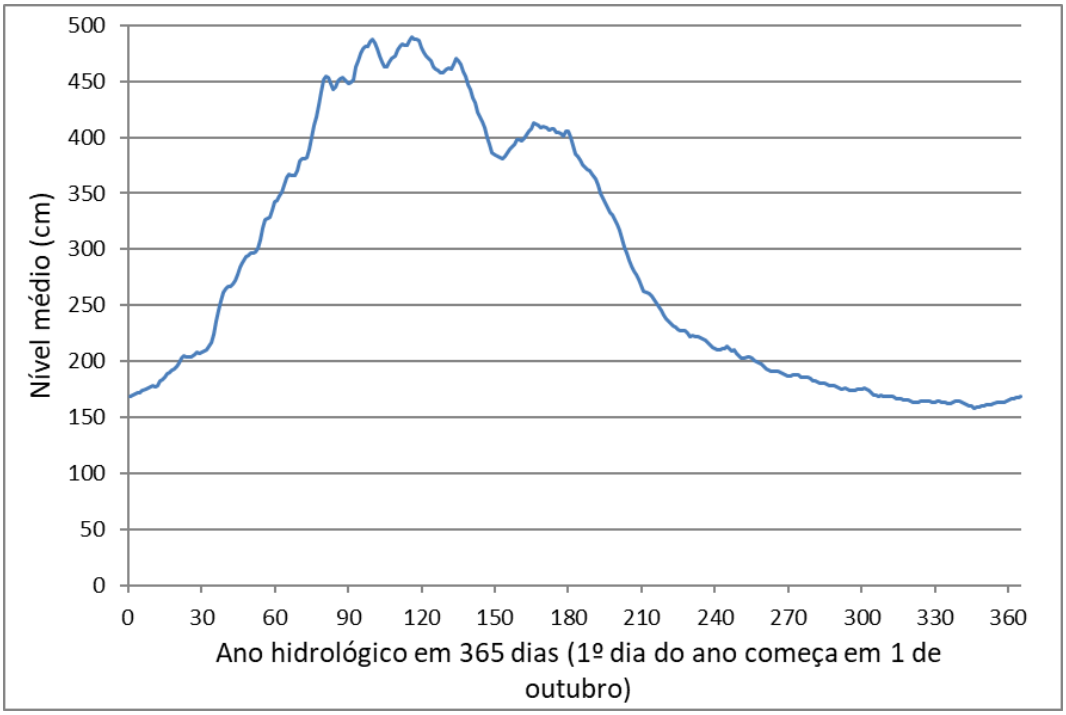
Diagnostics:

Erosion rate results:

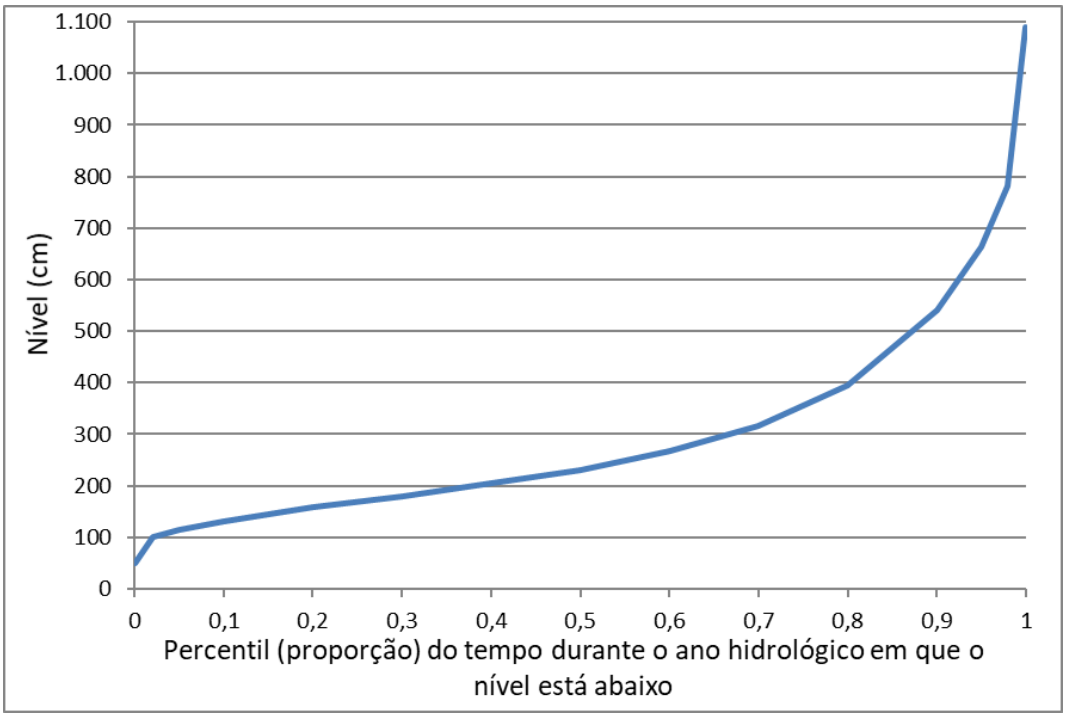
Sample name	Nuclide	St				Lm				LSDn			
		Erosion rate (g/cm2/yr)	Erosion rate (m/Myr)	Internal uncert (m/Myr)	External uncert (m/Myr)	Erosion rate (g/cm2/yr)	Erosion rate (m/Myr)	Internal uncert (m/Myr)	External uncert (m/Myr)	Erosion rate (g/cm2/yr)	Erosion rate (m/Myr)	Internal uncert (m/Myr)	External uncert (m/Myr)
CATFOZ13	Be-10 (qtz)	0.00244	9.78	0.172	0.816	0.00283	11.3	0.199	0.894	0.00247	9.87	0.174	0.626
PANMON7	Be-10 (qtz)	0.0147	58.7	1.67	4.95	0.015	59.9	1.7	4.83	0.0137	54.6	1.55	3.59
PANFOZ9	Be-10 (qtz)	0.0112	45	1.33	3.82	0.0117	47	1.39	3.81	0.0106	42.3	1.25	2.81
PARFOZ2	Be-10 (qtz)	0.0126	50.5	1.49	4.28	0.0131	52.2	1.54	4.23	0.0118	47.1	1.39	3.12
PERUFOZ5	Be-10 (qtz)	0.00212	8.47	0.145	0.709	0.00247	9.89	0.169	0.784	0.00216	8.63	0.148	0.549
PINFOZ11	Be-10 (qtz)	0.00175	7.02	0.15	0.599	0.00207	8.28	0.176	0.668	0.00179	7.15	0.153	0.466

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

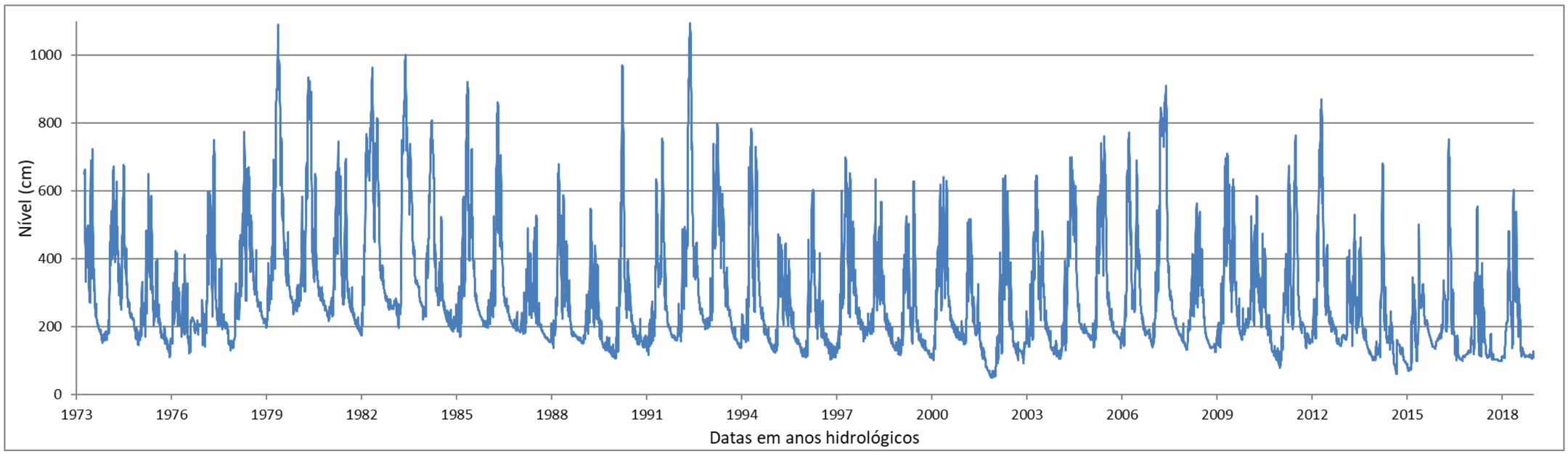
APÊNDICE M - Dados do nível do rio na estação Pedras de Maria da Cruz



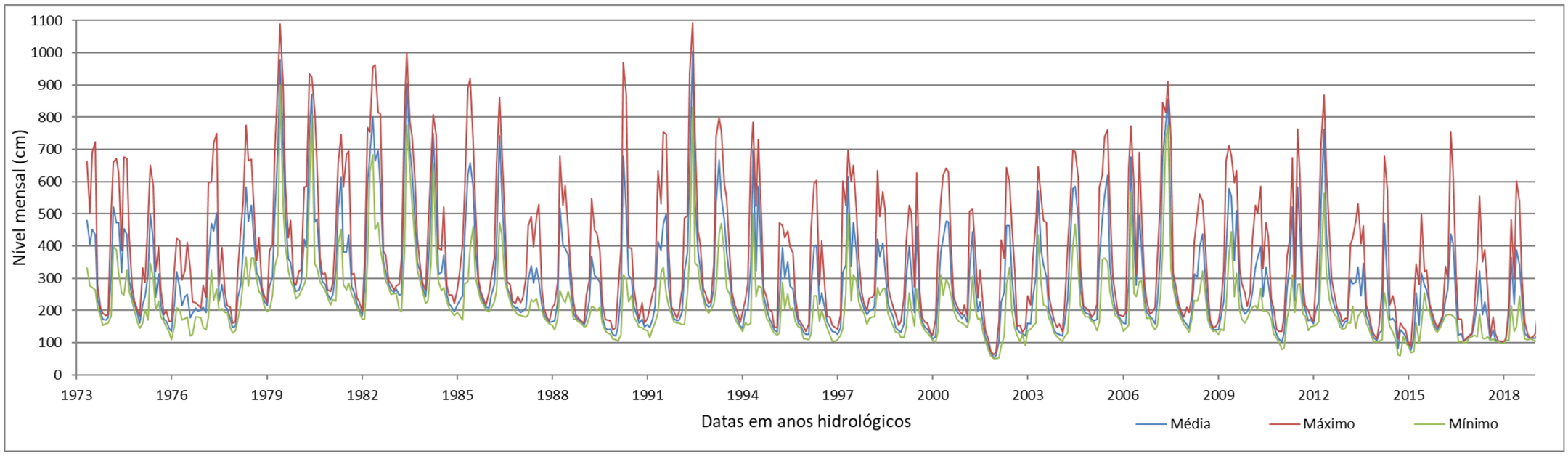
Nível médio ao longo do ano hidrológico do rio São Francisco na estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.



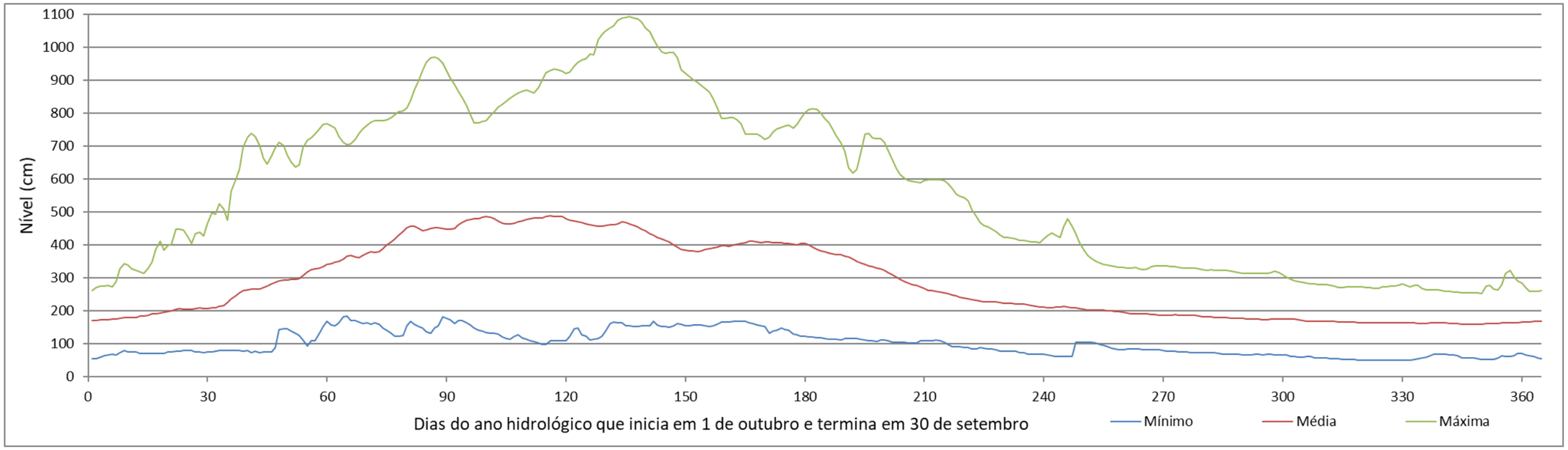
Percentil do nível médio do rio São Francisco na estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.



Nível diário do rio São Francisco na estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz de 1973 a 2018.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

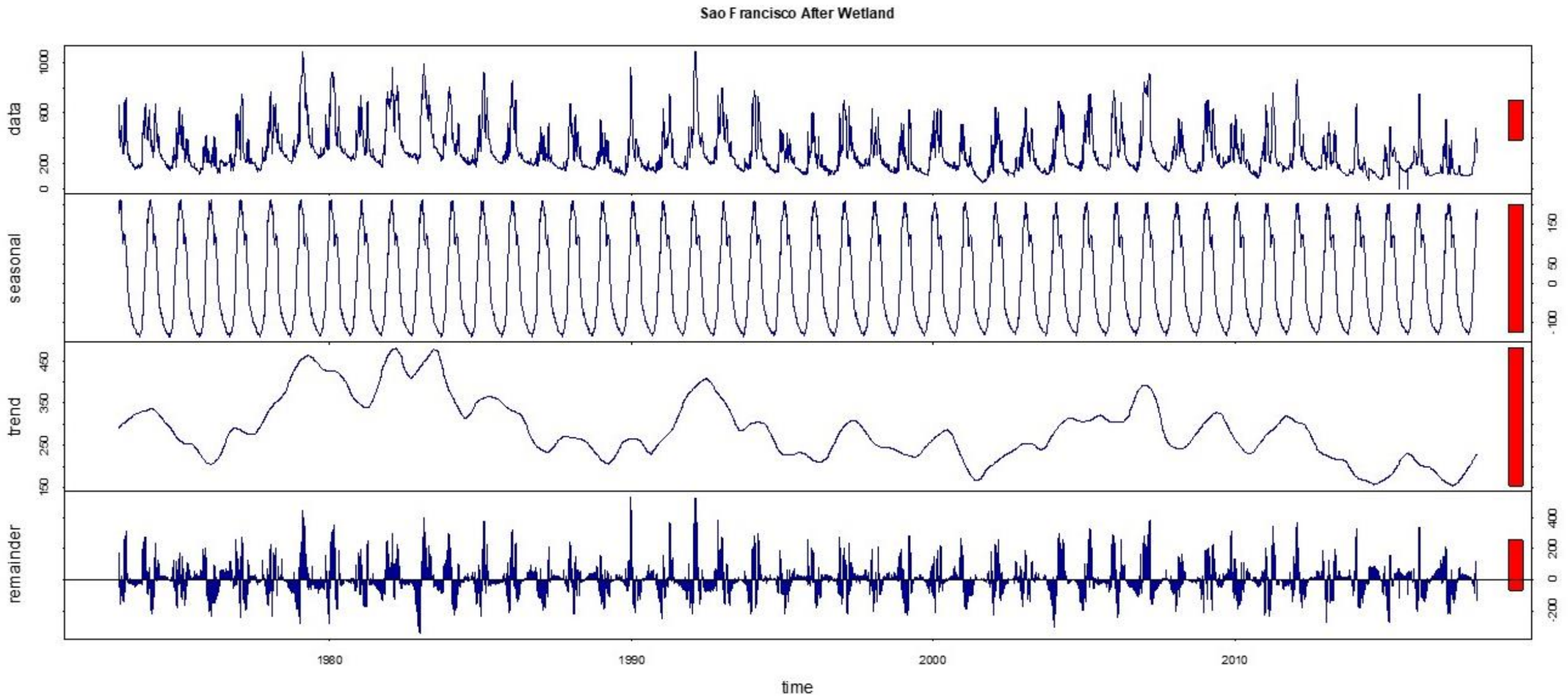


Nível médio, máximo e mínimo mensal de 1925 a 2018 do rio São Francisco na estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.



Média, mínima e máxima do nível do rio São Francisco ao longo do ano hidrológico na estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Nível do rio São Francisco na estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz (44290002): análise em seasonal trend decompositio (STD)



Análise do seasonal trend decomposition dos dados da estação fluviométrica de Pedras de Maria da Cruz.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

APÊNDICE N - Resultado da datação de sedimentos na planície de inundação do PRP

RADIOCARBON ANALYTICAL REPORT

NERC Radiocarbon Facility (East Kilbride)

Allocation No: 15.1121 **Submitter:** D. Alves de Oliveira

Project Title: Recent sedimentation dynamics of wetland in the Pandeiros river wetland

Sampling location: Agropop Farm, Januária, Brazil

Sample composition: Macrofossil

Pre-treatment of raw sample: Samples were digested in 2M HCl (80oC, 4 hours), washed free from mineral acid with deionised water then digested in 0.5M KOH (80oC, 30 minutes). The digestion was repeated using deionised water until no further humics were extracted. The residue was rinsed free of alkali, digested in 1M HCl (80oC, 2 hours) then rinsed free of acid, dried and homogenised. The total carbon in a known weight of the pre-treated sample was recovered as CO2 by heating with CuO in a sealed quartz tube. The gas was converted to graphite by Fe/Zn reduction.

Results:

Publication Code	Sample Identifier	^{14}C Enrichment (% Modern ± 1 σ)	Conventional Radiocarbon Age (years BP ± 1 σ)	%Carbon Content	$\delta^{13}C_{VPDB}$‰ (± 0.1)
SUERC-83388	LF Bottom	66.76 ± 0.31	3246 ± 37	51.5	-19.6
SUERC-83389	VP Bottom	70.77 ± 0.33	2777 ± 37	34.9	-27.9

Dr Philippa Ascough
17th December 2018

NOTES:

Results are reported as conventional radiocarbon years before present (BP; where 0 BP = AD 1950) and % modern ^{14}C, both expressed at the ±1σ level for overall analytical confidence. Where ^{14}C values are distinguishable from NRCF process background, results have been background corrected. ^{14}C results have been normalised to $\delta^{13}C_{VPDB}$‰ = -25 using the ^{13}C values in the report. *Estimated $\delta^{13}C_{VPDB}$‰.

RADIOCARBON ANALYTICAL REPORT

NERC Radiocarbon Facility (East Kilbride)

Allocation No: 15.1121 **Submitter:** D. Alves de Oliveira
Project Title: Recent sedimentation dynamics of wetland in the Pandeiros river wetland

Sampling location: Sr. Pedro Farm, Januária, Brazil

Sample composition: Macrofossil and Charcoal mixed

Pre-treatment of raw sample: Samples were digested in 2M HCl (80oC, 4 hours), washed free from mineral acid with deionised water then digested in 0.5M KOH (80oC, 30 minutes). The digestion was repeated using deionised water until no further humics were extracted. The residue was rinsed free of alkali, digested in 1M HCl (80oC, 2 hours) then rinsed free of acid, dried and homogenised. The total carbon in a known weight of the pre-treated sample was recovered as CO2 by heating with CuO in a sealed quartz tube. The gas was converted to graphite by Fe/Zn reduction.

Results:

Publication Code	Sample Identifier	^{14}C Enrichment (% Modern ± 1 σ)	Conventional Radiocarbon Age (years BP ± 1 σ)	%Carbon Content	$\delta^{13}C_{VPDB}$‰ (± 0.1)
SUERC-84443	LJ TOPO	154.60 ± 0.71	N/A	72.8	-28.5
SUERC-84444	LJ BASE	96.00 ± 0.44	328 ± 37	63.9	-28.3
SUERC-84445	LF Top	103.10 ± 0.47	N/A	49.1	-31.3
SUERC-84446	LF Middle	81.47 ± 0.37	1647 ± 37	53.3	-26.9
SUERC-84447	VP Top	89.39 ± 0.41	901 ± 37	55.8	-26.6
SUERC-84448	VP Middle	70.65 ± 0.31	2791 ± 35	58.5	-26.6

APÊNDICE O - Descrição dos transectos

Transecto T1w

Coordenadas: 530027 Leste e 8278247 Norte.

Altitude de 470m

Transecto T1w – Perfil 1

0-12cm: Folhas e galhos pequenos e grandes secos e muitas raízes pequenas e grandes. Matriz arenosa, acinzentada, com muita matéria orgânica e grãos mais claros. Sem estrutura e coesão. Presença de poucos grãos róseos ou amarelados com menos de 1mm de diâmetro. Cor: 2,5 Y 3/2.

12-33cm: Matriz arenosa, mas mais resistente a faca, com muitos tubos e poros médios e grandes. Em alguns locais há manchas claras amarelas e brancas com até 4cm de espessura. Muitas raízes grandes, poucas médias e poucas pequenas. Cor: 2,5 Y 5/1.

33-62cm: Matriz arenosa, com alguns mosqueados de óxido de ferro. Areia média a grossa, com alguns grãos de areia grossa e calhau. Muitas raízes médias, poucas grossas. Muito resistente a faca, muitos poros, média coesão, estrutura em blocos subangulosos (3-4cm). Algumas manchas brancas, aparentemente de areia mais lavada. Cor: 2,5 Y 6/2.

62+cm: Continua até 87cm. Em 87cm aparecem vários fragmentos rochosos. Matriz arenosa, muito resistente, muito coeso. Poucas raízes médias, médias porosidade. Contém grãos de areia grossa, assim como na camada acima. Grãos de várias cores (talvez quartzo). Apresenta cascalho, aparentemente de sílex?, leve mosqueado, com grãos de Fe. O cascalho também apresenta ter “arenito hidrotermalizado”/silicificado. Abaixo deste horizonte há uma camada de transição com muitos fragmentos de rocha, de granulometria de cascalho. Em 87cm, aparenta ser material coluvial, cascalho de sílex e um arenito silicificado. Cor: 10 YR 6/2.

Sem afloramento de água.

Transecto T1w- Fazenda Vicente Guedes, alto/alto pântano.

Coordenadas: Leste e Norte.

Altitude: 463m.

Transecto T1w – Perfil 2

0-7cm: Rico em raízes, menor quantidade de argila e com muito material orgânico em decomposição. Cheio de caramujos. Cor: 7,5R 3/1

7-20cm: Muito argiloso, poucas raízes, mas todas vivas. Cor: 2,5 Y 6/1

20-31cm: Muitas raízes vivas, algumas em decomposição, algumas lâminas de argila. Aparenta ser uma transição de ambientes. Cor: GLEY 1 2,5/N

31-39cm: Material escuro, camada fina, raízes decompostas, com algumas lâminas de argila. Cor: GLEY 1 4/10Y

39+cm: Horizonte escuro, rico em matéria orgânica. O nível freático aflora em 62cm, várias raízes finas em decomposição. Cor: GLEY 2 2,5/5PB

Transecto T1w- Fazenda Vicente Guedes, alto/alto pântano.

Coordenadas: 530216 Leste e 8278131 Norte.

Altitude: 463m.

Transecto T1w – Perfil 3

0-7cm: Raízes pequenas, sem estrutura, muitos caramujos. Cor: 10YR 2/2

7-24cm: Possui mais argila e matéria orgânica, iterdigitado. É uma camada mais seca que o horizonte abaixo. Possui raízes finas e grossas, como se fosse a fase de volta a um ambiente de menor energia (lagoa). Cor: 10YR 6/2

24-52cm: Argila e muita matéria orgânica misturadas e com raízes médias, ainda vivas e matéria orgânica em decomposição. Cor: 2,5Y 4/1

52+cm: Muita matéria orgânica, pouca argila, raízes decompostas. O nível freático aflora a 67cm. Cor: GLEY 2 2,5/10B

Transecto T1w- Fazenda Vicente Guedes, alto/alto pântano.

Coordenadas: 530345 Leste e 8277922 Norte.

Altitude: 468m.

Transecto T1w – Perfil 4

0-5cm: Textura de areia fina, com muita matéria orgânica (fezes de boi), presença de raízes médias. Sem estrutura, sem coesão. Pequena atividade de bioturbação. Sem grãos de areia grossa. Cor: 10 YR 4/3

5-15cm: Textura arenosa, de areia fina, estrutura em pequenos blocos subangulares de 2-3cm. Maior presença de tubos, muitas raízes pequenas e finas. Baixa coesão, aparentemente sem areia grossa. Cor: 10 YR 4/4

15-26cm: Textura arenosa, também areia fina, muito fina. Presença de vários tubos, bioturbação. Presença de raízes pequenas a médias e baixa coesão. Estrutura em blocos angulosos, levemente mosqueado, com presença de óxidos de Fe e manchas acinzentadas à esbranquiçadas de nódulos arredondados de areia fina. Estes nódulos possuem até 1cm de diâmetro. Cor: 10 YR 5/4

26-32cm: É uma continuação do horizonte superior, porém mais seco. Possui baixa coesão, estrutura em pequenos blocos subangulosos. Ainda existem as manchas do horizonte superior, muitas raízes finas em decomposição, ainda areia fina, aparentemente bem selecionada. Muito friável. Cor: 10 YR 6/4

32-42cm: Horizonte mais escuro, mais resistente, presença de nódulos maiores, sem ser de areia. Aparentemente possui mais argila, maior coesão. Muitas raízes grandes e médias. Muito poroso com túbulos de 3-4mm de diâmetro. Pequenos nódulos de concreção de óxidos de Fe. A estrutura é de pequenos blocos angulares, presença de pequenos fragmentos de carvão. Matriz apresenta muitos mosqueados (às vezes carvão, às vezes óxidos de Fe). Cor: 10 YR 4/4

42-53cm: Volta a predominar areia muito fina, sem coesão, presença de raízes finas. Presença de tubos de atividade biológica com até 1mm de diâmetro. Há um aumento do mosqueado de óxido de Fe. Muitos poros, existem algumas manchas mais claras, onde parece haver areia lavada mais próximo às raízes. Cor: 5 YR 6/6

53-60cm: Muito resistente à faca. Aparentemente mais argilosa. Mas a textura ainda é arenosa. Presença de manchas claras esbranquiçadas, maior coesão, muitos poros e tubos, pequenas raízes, tubos de atividade biológica. Cor:7,5 YR 5/4

60-66cm: Matriz arenosa sem coesão, sem estrutura. Presença de raízes finas e médias, volta o mosqueado. Cor: 7,5 YR 5/4

66-79cm: Camada muito resistente a faca, muitos tubos de atividade biológica de até 1cm de diâmetro, presença de raízes médias e grandes. Textura arenosa a média, com presença de silte/argila. Nódulos brancos, leve cerosidade. Materiais de diferentes camadas com grãos de até 0,7mm, presença de pequenos nódulos de carvão. Cor: 10 YR 6/3

79-95cm: Textura arenosa, mosqueado mais intenso. Muitos pequenos tubos de atividade biológica, raízes pequenas, às vezes com manchas esbranquiçadas ao redor delas, estrutura em blocos arredondados, menos coesão que o horizonte superior e mais bem selecionado. Cor: 10 YR 6/6

95+cm: Textura arenosa, as manchas de mosqueado se tornam maiores e mais verticais, textura arenosa, poucos tubos de atividade biológica, poucas raízes, muito resistente à faca, baixa coesão. Cor: 10 YR 6/4

Sem afloramento de água.

Transecto T2w

Pandeiros – Campo 4 a 13 de janeiro de 2016

Dia 06/01/2016

Descrição do transecto: área assoreada, com troncos de árvores (focos) deixados de antiga cobertura vegetal. Há uma sucessão vegetacional, com espécies da mata, próximas ao rio, depois arbustos e por fim, espécies higrófilas dominantes.

Transecto T2w - Perfil 1

Coordenadas: 15° 37’ 21,1” S 44° 42’ 20,2” W

Altitude: 459m

Fundo do antigo leito. Restos de troncos de árvores, que deviam cobrir a área como mata ciliar. Hoje, domínio de espécies higrófilas; que tem uma trepadeira de flor amarela.

0-5cm: Material orgânico em diferentes estágios de decomposição, mais seco e pouco coeso, apresentando discreto mosqueado. Cor: 10YR 2/1. Há discreta formação de estrutura em blocos angulares a arredondados.

5-11cm: Camada um pouco mais argilosa, presença de raízes menor do que a camada de cima, a sequência que lembra uma estrutura lêntica. A quantidade de argila dá uma maior resistência ao material e a quantidade de matéria orgânica é menor e mais mal distribuída no perfil, dando um aspecto de sequências meio horizontalizadas. É evidência clara de estrutura lêntica. Presença de raízes alteradas com acumulação de matéria orgânica. Cor não muito homogênea. Cor 10YR 3/1.

11-30cm: Mais argilosa que a anterior, com sequência lêntica, nas quais as camadas de deposição de matéria orgânica e argila se sobrepõem. Sequencias muito finas, ou seja, as camadas não são muito espessas entre as deposições. É possível detectar resíduos orgânicos de folhas em decomposição. Cor 2,5Y 5/1.

30-47cm: Estrutura lêntica, rica em matéria orgânica e pouca argila, dando um aspecto de estrutura oca. Presença de muitas raízes em fases diferentes de decomposição, formando como sequências de material tipo algodão, mais em camadas. Há presença de troncos decompostos, muito escuros, como se tivessem sido queimados (carvão), mas que não suja a mão como carvão. As sequências têm cores diferentes dependendo da maior ou menor quantidade de argila ou matéria orgânica. Cor 7,YR 3/1.

48+ cm: Camada também lêntica, com alternância de matéria orgânica muito decomposta, e menos quantidade de argila. Cor mais esverdeada, indicando presença mais constante de água. Presença de água à 64 cm. Cores não homogêneas, indicando mais presença ou de matéria orgânica ou de argila. É possível reconhecer resíduos de folhas, troncos etc. Observação: A área possivelmente de meandro abandonado ou de lagoa. Cor 5Y 3/2.

Transecto T2w - Perfil 2

Região do assoreamento do Pandeiros, após a AGROPOP, no domínio do pantanal. Parte baixa, possivelmente de meandros abandonados, mas com cobertura vegetal predominante de estrato arbustivo/herbáceo.

Coordenadas: 15°37’28” S e 44°42’29,2”O Altitude 463 m.

Altitude; 460m

0-5cm: Horizonte com muitas raízes finas a médias, tipo orgânico, mas com presença de argila. Estrutura granular em blocos, medianamente desenvolvida em blocos médios subangulares a arredondados. Camada com descontinuidade com o segundo horizonte. Transição abrupta mas irregular. Presença de fendas longitudinais, que tem início no primeiro horizonte e continuam até a base do perfil. Cor 10YR 2/2.

5-48cm: Horizonte muito mosqueado, com estrutura prismática, presença de fendas verticais. Presença de raízes finas, presença de bi túbulos. Mosqueamento preferencialmente longitudinal. Áreas mais mosqueadas e menos mosqueadas ao longo do perfil. Material da matriz muito argiloso, de cor predominantemente acinzentada. Cor 10YR 4/2.

48-60cm: Muita presença de carvão. Muito mosqueado. Forma um horizonte escuro, ao longo do perfil. Mais volume mosqueado que no horizonte superior, mais não segue túbulos. Estrutura granular. Não é prismático. Raízes médias em decomposição. Cor 5YR 2,5/1.

60+cm: Muito mosqueado, seguindo o fluxo de raízes ou atividade biológica. Estrutura em blocos pequenos angulares e matriz escura. Cor pouco homogênea em função do mosqueado. Cor 5YR 3/1.

Sem afloramento de água

Transecto T2w - Perfil 3

Perfil na mata do tipo mata atlântica, ao lado da margem esquerda do Pandeiros. Altura média de 08 a 10 metros das árvores de tronco retilíneo. Presença de estrato arbustivo bem representativo, com altura média de 02 metros. Presença de gramíneas em menor percentagem, em especial de herbáceas 30 a 150 cm de altura média. Serrapilheira com aproximadamente 2 a 3 cm de espessura, em graus diferentes de decomposição. 100% de cobertura vegetal, sendo 80% arbórea, 40% arbustiva e 60% gramínea/herbácea.

Coordenada: 15° 37’ 40,1”S e 44° 42’ 25,8” W

Altitude: 463m

0-5cm: Camada de serapilheira, húmus, bem decomposta, misturada com terra. Possível distinguir raízes residuais. Pouco sedimentos arenosos. Cor: 10YR 2/1.

5-19cm: Mistura de areia mais ou menos grossa, com matéria orgânica incorporada. Cor heterogênea no perfil, com nódulos de bioatividade (orgânicos) no meio do perfil. Esses nódulos têm diâmetros variados e são subangulares (tamanho médio a pequenos). Presença de raízes finas e médias (poucas). Presença de carvão. Cor 7,5 YR 4/4.

19-33cm: material mais amarelado com relação ao anterior e menor influência do húmus. Presença de poucas raízes. Cor mais homogênea. Cor 7,5YR 4/6.

33-47cm: Camada areno-orgânica, de cor mais escura. Possivelmente antiga área deprimida, com deposição de matéria orgânica. Presença de raízes. Cor: 7,5 YR 4/3.

47-59cm: Material muito arenoso de acumulação e oxidação de ferro. Camada mais resistente à faca indicando oxidação do ferro. Cor 7,5 YR 5/8.

59-90cm: Areia mais fina, com a presença marcante de mosqueado. Mosqueado recente em forma de filetes verticais. Material muito friável, em especial na base, o que leva a areia a colapsar per si. Cor: 7,5Y 6/8.

90-120cm: material mais escuro, com influência de matéria orgânica, bastante úmido: material um pouco mais firme do que na camada inferior. Cor: 10YR 5/6.

120 a 160 cm: Tradagem a 40 cm abaixo: indica presença de material mais escuro, muito úmido, indicando a proximidade do nível freático. O material é mais coeso, com presença de mais matéria orgânica e silte. Presença de mosqueado. Cor: 2,5Y 6/3

160-170cm +: Material cinzento, muito úmido, indicando proximidade com o freático. Material semelhante ao de cima, apenas mais úmido. Cor: 2,5Y 7/4

Nível freático aflora a 170cm

Transecto T3w

Pandeiros – Campo 4 a 13 de janeiro de 2016

Dia 09/01/2016.

Descrição geral: Cobertura de Cerrado, tipo Cerradão, com estrato arbóreo predominante. Árvores com altura médio de 5 metros, máxima 10 metros e mínima 2 metros. Debaixo de árvores, camada espessa de serapilheira e uma estrada acima da árvore do ponto inicial.

Azimute: 45°NE para 225°SW T3wA

Transecto T3w - Perfil 1:

Dia 10/01/2016

Coordenadas: 15°36’31.5” S e 44°42’12,9” O

Altitude 482 metros

Topo, ocupado por pastagem, na qual foram deixadas árvores altas (08 metros de altura média) típicas de cerradão. Outro estrato é o herbáceo/gramínea, com altura média de 20 cm. Poucas arbustivas, com aproximadamente 50 cm de altura média. 70% de cobertura vegetal, predominantemente de gramínea/herbácea. Destes, 15% de cobertura arbórea e 60% de cobertura herbácea/graminosa. O restante do solo é coberto por: 15% de serrapilheira, em diferentes estágios de decomposição e por solo exposto, as vezes, rico em matéria orgânica.

0-18 cm: Camada superficial, orgânica, presença de pequenas raízes finas. Manchas de húmus ou matéria orgânica, na cor mais escura. Textura arenosa (média a grossa), material pouco coeso, em blocos (pouco desenvolvidos). Cor 7,5 YR 4/4.

18-51 cm: Camada também arenosa, com presença de raízes mais grossas, mais desenvolvidas, menor quantidade de raízes finas, matéria orgânica em quantidade bem menor, comparado com a camada anterior; é uma camada bem homogênea. Presença de carvão e biotubos. Estrutura mais resistente, mais coesa. Cor 10 YR 5/6.

51-87 cm: Camada menos resistente, pouco coesa, raízes finas, bem homogêneo, presenças de tubos (muito pequenos), muito arenoso. Cor 10 YR 4/6.

87+ cm: Camada mais resistente, com presença de tubos (pequenos), parece se desenvolver em finas placas, material mais coeso e resistente, comparado com as anteriores. Também arenoso. Cor 7,5 YR 6/8. Obs.: presença de térmitas.

Transecto T3w - Perfil 2

Dia 10/01/2016

Coordenadas: 15°36’54,9” S e 44°42’8,8” O

Altitude: 468 metros.

A partir do primeiro ponto do perfil de declividade 3B, no azimute de 136° e 30 metros, foi aberto o perfil.

Quanto à vegetação, o estrato arbóreo é predominante, caracterizado por espécies típicas do Cerrado, com troncos tortos, cascas grossas, altura entre 4 e 6 metros. Entretanto, aparecem também arvores com troncos mais lisos e finos, e ligeiramente mais altas, aproximadamente 6 a 8 metros. Temos então uma média de 6 metros. O estrato arbustivo é escasso, com altura média de 1,5 metros, geralmente aparecendo próximo às árvores. Gramíneas quase inexistentes. Cobertura vegetal variando de 30 a 100%, com média de 65%. Relevo suavemente inclinado, quase plano. Serrapilheira em aproximadamente 95% da superfície, com espessura de aproximadamente 5 cm.

0-12 cm: Camada arenosa, com forte acúmulo de matéria orgânica, manchas escuras, podendo ser húmus. Presença de pequenos tubos e raízes finas, estruturas em pequenos blocos, entretanto pouco coesos. Cor 10YR 3/3.

12-39 cm: Camada com presença de raízes (muitas raízes radiculares bem finas); também tem bastante acúmulo de matéria orgânica, pouco menos que a camada anterior, muito arenoso, apresenta pequenos tubos. Material muito solto. Pequenos fragmentos de carvão. Cor 10 YR 4/6.

39-105 cm: Camada bastante profunda e homogênea, muito arenoso (menos estruturado que a camada anterior), cor bem homogênea, pequeno acúmulo de matéria orgânica. Presença de raízes radiculares bem fininhas. Pequenos fragmentos de carvão, foi encontrado grãos de quartzo. Pequenos tubos. Cor 7,5 YR 5/8.

105+ cm: Camada com uma resistência maior, grãos mais coesos, pequenos tubos, presença de pequenos grãos de quartzo, matriz homogênea. Cor 10 YR 5/8.

Transecto T3w - Perfil 3

Dia 10/01/2016

Coordenadas: 15°37’00” S e 44°42’8,2” O

Altitude 465 metros

Quanto à vegetação, é possível perceber os três estratos. As árvores aparecem desde os buritis com aproximadamente 12 metros de altura. Há diversas árvores menores, com aproximadamente 5 metros. Muitas têm galhos secos e caídos, onde o antigo canal de água da Vereda passava. Sendo a parte da Vereda mais baixa. Presença de arbustos pequenos, de altura de aproximadamente 60 cm, espalhados pela superfície, alguns já secos e pouca variedade de espécies. As gramíneas aparecem de maneira sutil, em menor cobertura. Cobertura média da vegetação. 40 % da área, principalmente por árvores de pequeno porte. 55% de solos exposto e 5% de lodo/musgo. Área deprimida, plana. Fundo do canal da vereda.

0-6 cm: Camada com intensa atividade biológica (caramujos). Estrutura em grumos, presença de bastante matéria orgânica, até na forma de húmus. Presença de raízes, leve pegajosidade, é possível notar a presença de argila. Cor 10YR 2/2.

6-18 cm: Camada com presença de raízes, atividade biológica (caramujos), mosqueados, próximo às raízes aparecem manchas vermelhas e mais longe de cores amarelas. Presença de tubos, presença um pouco mais acentuada de argila, comparada com a camada anterior. Cor 10 YR 3/1.

18-26 cm: Camada bastante arenosa, menor presença de argila, manchas mosqueadas de quartzo branco, envolto por uma matriz mais escura. Pequenas e médias raízes. Aparentemente é uma camada de acúmulo de matéria orgânica, mas em ambiente arenoso. Atividade biológica intensa (caramujos de diversos tamanhos). Material pouco coeso. É uma camada descontínua com variações de profundidades variando de 6 a 12 cm. Cor Gley 1 – 2/N

26-41 cm: Camada arenosa, blocos angulares de tamanho pequeno, muitos tubos (pequenos), presença de raízes finas e pequenas, matriz acinzentada. Cor 10YR 5/2.

41-91 cm: Camada arenosa, uma areia um pouco mais grossa. Cor 10 YR 6/2.

91+ cm: Camada arenosa (só areia), presença de tubos, camada úmida. Cor 10 YR 6/1. Tradagem 91 cm a 150 cm: Continua a camada de areia sem água.

Transecto T3w - Perfil 4:

Dia 10/01/2016

Coordenadas: 15°37’2,2” S e 44°42’7,3” O

Altitude: 466 metros

Área de mata, predomínio do estrato de árvores típicas do cerrado. Galhos tortos e casca grossa, mas com árvores com troco fino e liso, com altura média de 10 a 12 metros, compondo 75% da cobertura. Presença de arbustos, 20% da cobertura. 100% de cobertura de serrapilheira. Relevo levemente inclinado no sentido da lagoa, com alguns montículos de 3,5 metros de diâmetro e altura de aproximadamente 50 cm.

0-18 cm: Camada superficial, com acumulação de matéria orgânica, presença de muitas raízes, radiculares e pivotantes, pequenos nódulos de carvão, manchas de areia mais clara, material bem arenoso, pequenos tubos, pouco coeso. Cor 10 YR 3/4.

18-59 cm: Camada arenosa, acúmulo de matéria orgânica em manchas. Muitas raízes de diversos tipos e tamanhos. Material pouco coeso, poucos tubos, bem pequenos. Cor 10 YR 6/6.

59+ cm: Camada também arenosa, estrutura em blocos, presença de tubos pequenos, raízes finas, e mosqueado alaranjado na forma de manchas sem orientação preferencial. Presença de pequenos grãos de quartzo. Muitos poros. Cor 2,5 Y 7/8.

Transecto T3w – Perfil 5

Data: 21/03/2016

Fazenda Agropop

Coordenadas: 531984 Leste e 8273231 Norte Fuso 23L

Altitude: 465m

Centro de uma depressão fechada, relevo plano, cercado por árvores com estrato arbóreo médias e altas, com altura média de 8 metros, tronco liso. Depois tem uma zona de estrado herbáceo com altura de 20 cm. No entorno do perfil há um estrato arbustivo, rodeado também por gramíneas e outros arbustos menores. Os arbustos medem entre 1,5 e 2,5 metros. Pouquíssimas árvores no centro da lagoa. Cobertura vegetal de 100%, com presença de uma camada delgada de serapilheira sem evidência de erosão ou transporte de materiais. Segundo o Gilson, a lagoa não enche faz muito tempo.

Horizontes:

0-7cm: Presença de pequenas raízes, com nódulos marrom claro, estrutura em pequenos blocos subangulares e manchas de areia bem clara. Presença de caramujos pequenos. Cor: 7,5YR 3/1.

7-48cm: Presença de raízes muito pequenas e restos de raízes em decomposição (pequenas manchas). Muito arenoso. Ausência de estrutura. Pequenos grãos marrons e ainda algumas linhas de areia branca na vertical/diagonal, não horizontal. Em 40-41 cm há uma camada com presença de pequenos grãos, com 1 cm de diâmetro. No fundo desta camada, a cor fica um pouco mais clara e as raízes reduzem bastante. Cor: 7,5YR 5/1.

48-77cm: Esta camada possui muita argila, mas com alguns pequenos grãos de areia em meio a uma matriz argilo-arenosa. Linhas verticais/diagonais de areia clara (lavada) com diâmetro médio de 4mm. Estrutura pouco desenvolvida (blocos angulares). Não há raízes. Cor 7,5 YR 6/1.

77+cm: Camada mais úmida, arenosa, mas com um pouco de argila/silte, ainda com veios de areia clara (lavada) na direção vertical e presença de pequenos grãos de quartzo (outro material também de pequeno diâmetro). Há pequenas raízes em pouca densidade e pequenos e poucos tubos de atividade biológica. Diâmetro dos grãos: 2 a 6mm. Cor: 7,5YR 6/1.

Transecto T3w – Perfil 6

Fazenda Agropop

21/03/2016

Coordenadas: 532078 Leste e 8273109 Norte

Altitude: 463m

Mata entre a lagoa e a vereda. Borda mais elevada e drenada da lagoa. Estrato arbóreo predominante, com galhos finos e médios, lisos, com árvores de 8m a 5m, em 100% de cobertura vegetal. Presença de serapilheira abundante, de aproximadamente 10 cm de altura (com galhos e folhas mortas). Presença de arbustos e cipós de altura de até 1,5m. Sem evidência de erosão ou transporte de material em superfície.

0-14cm: Serrapilheira em decomposição com pequenas estruturas medianamente desenvolvidas entre pequenas raízes. Grande presença de tubos de atividade biológica. Matriz arenosa. Os tubos são pequenos e médios. Cor: 7,5 YR 3/1.

14-27cm: Blocos bem estruturados, subangulares, com presença de tubos pequenos e médios com presença de nódulos claros de areia e pequenas raízes. Cor: 7,5 YR 4/1.

27-50cm: Blocos em estruturas pouco desenvolvidas, presença de tubos pequenos de atividade biológica e pequenas raízes. Matriz arenosa de coloração uniforme. Cor: 2,5Y 6/8.

50-88cm: Blocos angulares pouco desenvolvidos, com presença de tubos pequenos de atividade biológica e pequenas raízes. Matriz uniforme. Presença de muitos tubos. Não há carvão e a matriz amarela é muito uniforme. Sem pegajosidade. Presença de poucos, mas alguns grãos menos do que 1mm, parecem de quartzo. Cor: 2,5Y 7/6.

88+cm: Matriz amarela com muitos tubos de raízes em decomposição e tubos de atividade biológica pequenos, médios e grandes. Presença de alguns mosqueados. Contém também pequenos grãos de quartzo em blocos bem estruturados, angulares e pequenos. Maior presença de argila. Cor: 2,5Y 6/6.

Transecto T3w – Perfil 7

21/03/2016

Altitude: 461m

Fundo da 2º para 3ª vereda. Fundo de vale com pequeno interflúvio a direita (presença de buritis) depois vem o interflúvio a esquerda. Presença de arbustos entre 2,0 e 2,5m. Sobre o perfil tem uma cobertura herbácea de 5cm de altura. 100% de cobertura vegetal. Acima existem alguns arbustos de 1,5m de altura. Alguns galhos caídos de árvores em decomposição e buritis sem folhas. Sem evidência de transporte e erosão. Muita matéria em decomposição. Segundo o Gilson, esta vereda só enche de água quando o pântano alaga muito, não é todo ano. Só em cheia. Mas no período úmido corre água.

0-17cm: Presença de raízes em decomposição em abundância, matéria orgânica decomposta e grãos de areia limpa e pequenos. Muitas formigas e atividade pedológica intensa. Sem desenvolvimento de estruturas. Cor: 10YR 2/1.

17-25cm: Estruturas bem desenvolvidas com muitas raízes em decomposição em blocos subangulares unidos por matéria orgânica e bem porosos. Com grãos de quartzo muito limpos no meio da matriz. Cor: Gley 2 2,5/5BG.

25-63cm: Sem estrutura bem desenvolvida, mas muito úmida com raízes pequenas e médias, todas em decomposição entre uma matriz muito mais arenosa com manchas escuras e marrom claro. Cor 10YR 3/1 – mosqueado com matéria orgânica mais escura.

63+cm: Matriz arenosa já totalmente úmida. Presença de várias raízes médias e pequenas. Sem presença de estrutura, tubos, coesão, pegajosidade e não parece ter muita argila em todo o perfil. Cor 10YR 5/2.

Transecto T4w

Transecto T4w – Perfil 1

Data: 24/03/2016

Coordenadas: 539218 Leste e 8267297 Norte.

Altitude: 460 m

Fazenda do Seu Pedro.

Superfície aplainada, com inclinação suave em direção a margem esquerda do rio Pandeiros atual. Possui suaves depressões em seu entorno. Possui algumas rampas, desde a Fazenda do seu Pedro. Cobertura vegetal de 85%, composta por estrato herbáceo, com gramíneas com até 3 cm de altura e pequenos arbustos, em forma de galhos, espalhados e muito abundantes nesta época do ano com até 50 cm de altura. Como em outros perfis, espalhados em tufos, há árvores de pequeno e médio porte entre arbustos grandes, com trepadeiras e cipós.

Os galhos das árvores são lisos, com altura média entre 4m e 6m. Há um cacto ao longe do perfil. Existe um pouco de serapilheira em decomposição. Existem manchas de areia solta nos locais em que não há grama. Mas não há sinal de erosão ou transporte intenso de material. Embaixo dos aglomerados de árvores/arbustos, há muito mais matéria orgânica em decomposição, com muita serapilheira também.

0-13cm: Matriz arenosa, com muitas raízes pequenas e médias, várias manchas de matéria orgânica em decomposição, inclusive em tubos grandes de atividade biológica. Estrutura pouco desenvolvida em pequenos blocos angulares. Algumas manchas mosqueadas de cor marrom claro e marrom escuro. Cor: 10YR 5/6.

13-24cm: Matriz arenosa, com estrutura pouco desenvolvida em blocos médios e pequenos angulares, presença de raízes finas e médias. Pequenos tubos de atividade biológica. Algumas manchas de areia clara e marrom mais escuro. Manchas verticais de matéria orgânica em decomposição, talvez movimentadas por atividade biológica. Cor 10YR 6/8.

24-42cm: Matriz arenosa, com coloração mais amarelada. Surgem mais mosqueados pequenos, mas mais concentrados. Presença de raízes finas e grossas. Há vários pequenos tubos de atividade biológica. Estrutura pouco desenvolvida, em blocos médios, subangulares e fraca resistência a quebra dos dedos. Vários poros. Na matriz existem alguns grãos (aparentemente) de quartzo, com 5mm de diâmetro. Mais úmido. Cor: 10YR 6/8.

42-120cm: Matriz arenosa, muitos tubos pequenos e médios de atividade biológica. Muitos poros, presença reduzida de raízes, mas há pequenas e médias. Mosqueado mais intenso. Blocos médios e maiores, pouco desenvolvidos, mas mais resistentes. Grãos de quartzo de 5mm de diâmetro e alguns pequenos 3mm de diâmetro de laterita bem arredondada. Cor: 10YR 7/8.

120+cm: Surgem lateritas de vários tamanhos espalhadas em média concentração. Matriz muito arenosa. Cor clara, vários tubos de atividade biológica. Pouquíssimas raízes pequenas e finas. Estrutura pouco desenvolvida em fracos pequenos blocos subangulares. Contém grãos de material róseo, com 5mm de diâmetro em formato retangular, espalhados, pouco concentrados. Cor: 10YR 8/2.

Transecto T4w – Perfil 2

Data: 23/03/2016.

Coordenadas: 539063 Leste e 8266884 Norte

Altitude: 459m.

Margem esquerda do atual rio Pandeiros. 90% de cobertura vegetal, dividida em 3 estratos: herbáceo, com pouquíssimas gramíneas, com 7cm de altura e outros maiores (quase arbustos, com 50 cm de altura); arbustos de até 3m de altura e árvores de tronco reto, porte médio (6m de altura) espalhados em grupos. Entre os grupos há poucas gramíneas. Superfície plana, que começa no barranco no rio e tem baixa inclinação. Há alguma serapilheira no solo, galhos soltos. Na parte baixa dos arbustos não há folhas. Esta área não estava em algum curso antigo do rio, mas é inundável durante a cheia.

0-5cm: Areia solta e muita serapilheira e matéria orgânica em decomposição. Presença de pequenas raízes. Cor: 10YR 4/4.

5-24cm: Matriz arenosa, com pequenas raízes sem estrutura definida, mas com alguns pequenos blocos sem resistência ao quebrar com os dedos. Presença de pequenas raízes. Matriz arenosa solta, sem estrutura e resistência. Presença de tubos minúsculos. No perfil existem marcas de material mais escuro, indicando bioturbação. Presença de alguns mosqueados discretos amarelados. Cor: 10YR 4/4.

24+cm: Matriz arenosa, muito amarela, presença de grãos de 5mm de diâmetro, presença de raízes médias e finas. Presença de pequenos tubos de atividade biológica. Sem estrutura, sem coesão, sem resistência ao quebrar. Cor: 10YR 6/8.

Transecto T4w – Perfil 3

Coordenadas: 539039 Leste e 8266601 Norte

Altitude: 456m

Margem direita do atual rio Pandeiros

Margem esquerda no antigo canal ao lado, ou sobre o dique marginal. Cobertura florestal de 100% composto de um estrato arbóreo com árvores de porte médio, tronco liso e várias trepadeiras e cipós. Todos têm galhos e ramos secos, embaixo e folhas começam com 1m de altura. Troncos lisos e tortuosos com 6m de altura. Grande cobertura

de serapilheira com muitas folhas e galhos. Cerca de 10cm de altura de serapilheira. Sem sinal de erosão ou transporte mecânico.

0-14cm: Camada rica em argila, com matéria orgânica em decomposição sobre uma matriz argilosa. Intensa presença de raízes finas, médias e grossas, com pequenos tubos de atividade biológica. Algumas estruturas mais desenvolvidas em blocos subangulares e algumas manchas de material mais escuro (marrom) com outras manchas de marrom mais claro. Cor: 10YR 3/4.

14-33cm: Matriz muito arenosa mosqueada intensamente com manchas vermelhas. Tubos finos de atividade pedológica e pequenas estruturas, pouco desenvolvidas de blocos angulares. Contém raízes médias e finas em menor quantidade. Cor 2,5YR 7/6.

33-42cm: Camada com matriz de areia fina, com um pouco mais de argila, mais amarelo escuro que a anterior. Presença de tubos, médios de atividade pedológica e pequenos blocos subangulares com baixa resistência a quebra. Presença de poucas raízes médias. Intenso mosqueado com manchas marrom escuro, quase vermelho. Cor 10YR 5/6.

42-57cm: Camada em matriz arenosa, com intenso mosqueado, muito predominante em vermelho e amarelo. Existem manchas de areia clara, com poucas raízes médias. Estrutura em blocos maiores um pouco mais resistentes a quebra como os dedos do que a camada anterior. Cor: 10YR 6/6.

57-66cm: Mosqueado vermelho em matriz arenosa cinza, mas úmida. Presença de tubos pequenos de atividade biológica e raízes em decomposição. Cor: 10YR 4/6.

66-77cm: Camada arenosa mas com muito mais argila. Escura e com muitos mosqueados vermelhos. Pequenos tubos de atividade biológica. Também tem manchas mais claras no interior da camada. Cor: 10YR 3/2.

77-81cm: Camada argilosa muito escura com grumos pequenos e raízes em decomposição. Tem tubos pequenos de atividade biológica e alguns núcleos mais acinzentados e marrons. Cor 10YR 2/1.

81-97cm: Camada mais argilo-arenosa, com muitos tubos pequenos de atividade biológica e raízes pequenas. Também com mosqueados acinzentados e avermelhados e raízes pequenas. Cor: 7,5 YR 4/1.

97-121cm: Matriz arenosa, cinza com muitos tubos pequenos de atividade biológica, com alguns mosqueados claros. Pouca matéria orgânica e poucas raízes. Cor: 10YR 6/1.

121+cm: Camada argilosa (muito) com muitas raízes pequenas com mosqueados ainda (vermelhos e amarelos) com plasticidade. Intensos tubos pequenos e estruturas em pequenos grumos. Muitos tubos de atividade biológica. Cor 7,5YR 3/1.

Transecto T4w – Perfil 4

Coordenadas: 539053 Leste e 8266188 Norte.

Altitude: 457m

Meio do pântano, entre duas lagoas pequenas, próximo da Lagoa Verde (que não seca). Fundo do pântano, área mais elevada, cobertura vegetal de 30%, formada de gramíneas com 5cm de altura, espalhadas. Muita matéria orgânica em decomposição, presença de gado em pastagem, sem erosão visível. Nas partes mais altas e elevadas, há arbustos com até 4m de altura, embaixo há menos folhas, na copa tem mais. Estão espalhados em aglomerados.

0-10cm: Camada com matriz arenosa, presença de raízes pequenas e material orgânico (folhas e outras raízes em decomposição). Manchas mais escuras e marrons. Sem estrutura desenvolvida, mais coeso pelas raízes. Cor: 10YR 4/3.

10-28cm: Matriz arenosa com mosqueado amarelo a vermelho e manchas escuras de matéria orgânica em decomposição. Raízes finas e sem estrutura desenvolvida. Cor: 10YR 6/8.

28-37cm: Camada escura com muitas raízes finas e médias. Manchas em mosqueado vermelho. Material arenoso (fino) com um pouco de argila e mais úmido. Tubos pequenos e médios de atividade biológica. Presença de algumas partículas de carvão. Cor: 10YR 4/2.

37+cm: Matriz arenosa, com muitas raízes em decomposição, sem estrutura definida, com pequenos tubos de atividade biológica. Manchas marrons em forma de mosqueado em torno de uma clara areia. Aqui aflora a água. Cor: 10YR 7/6.

Pandeiros – Campo março de 2016

Transecto T5w – Perfil 1

23/03/2016

Coordenadas: 543441 Leste e 8266170 Norte

Altitude: 461m

Superfície aplainada, acima da lagoa, sem inclinação ou direcionamento da água evidente. A vegetação é semelhante ao Transecto 5w – Perfil 2. Predomina um estrato herbáceo, com pequena altura. Neste ambiente, há também pequenos arbustos (ou herbáceo), de altura de até 70cm que dominam as áreas. Localizados em tufos, os arbustos continuam, mas agora as raízes expostas embaixo, seus troncos são lisos, com grossura média e altura de até 2-3m. As árvores são de porte médio com troncos lisos, algumas com 6m, mas há poucas maiores, com até 12m de altura, que se destacam. Há pouca serapilheira na superfície, sendo que embaixo do arbusto há mais. Existe área exposta entre o estrato herbáceo, mas não há sinal de transporte mecânico de material, ou feições erosivas.

0-5cm: Areia solta, com raiz, matéria orgânica em decomposição, sem estrutura. Cor: 10YR 6/2.

5-14cm: Camada com estrutura em blocos, pouco desenvolvidos, e com fraca resistência. Quebra facilmente com os dedos. Possui raízes pequenas, poucos tubos de atividade biológica e matéria orgânica (raízes em decomposição) em manchas marrom escuro no meio da matriz arenosa. Cor: 10YR 7/4.

14-53cm: Blocos angulares, com matriz em areia e presença de muitas raízes já decompostas (grandes manchas marrons). Presença de tubos de atividade biológica, sem muita resistência a quebra dos blocos. Presença de pouquíssimos grãos de areia, de diâmetro de 4mm. Cor: 10YR 8/6.

53-91cm: Camada também arenosa, com presença de raízes médias e finas, estrutura em pequenos blocos, pouco desenvolvidos, sem resistência ao quebrar com os dedos. Mais úmido e amarelado. Possui manchas mais claras de areia. Há tubos muito pequenos de atividade biológica. Presença de grãos arredondados de quartzo e outros escuros. Cor: 10YR 8/8.

91+cm: Blocos angulares maiores com muitos tubos pequenos. Os blocos são mais desenvolvidos e com maior resistência a quebra aos dedos. Começam a aparecer manchas de mosqueado. Há pequenas raízes. Os mosqueados formam nódulos mais resistentes. Há tubos médios de atividade pedológica. Cor: 10YR 6/8.

Transecto T5w – Perfil 2

Coordenadas: 543151 Leste 8265728 Norte. Fuso 23L.

Altitude: 459m.

Superfície aplainada, suavemente inclinada em direção a lagoa. Cobertura vegetal de 50%, composta de um estrato herbáceo, com até 3m de altura, muito ralo, entre manchas de areia. No entorno há arbustos a partir de 2m de altura, espalhados entre si. Entre os maiores arbustos, há árvores de porte baixo e médio, com altura média de até 6m. Normalmente no meio dos arbustos. Não há árvores isoladas. Os arbustos na parte baixa parecem ter algumas raízes ou galhos lisos (talvez devido a inundação?). Embaixo dos tufos de arbustos há bastante serapilheira depositada. Nos campos entre os arbustos, não há serapilheira, mas sim, muita areia solta.

0-10cm: Camada com presença de areia e argila, muito resistente a faca e ao furar o perfil com presença de pequenas raízes e tubos médios e pequenos abundantes. Estrutura pouco desenvolvida em pequenos blocos angulares, que oferecem resistência ao serem quebrados com os dedos. Presença de mosqueado amarelo em meio a matriz cinza. Presença de tubos grandes de atividade biológica. Poucos grãos maiores que os de areia. Cor: 2,5YR 6/2.

10-30cm: Horizonte mosqueado, com grande presença de poros entre os grãos de areia em uma matriz arenosa e muito resistente a quebra com os dedos e a faca. É uma das mais resistentes do perfil. Presença de tubos médios e pequenos de atividade biológica e raízes finas, médias e grossas. Contém alguns grãos em média de 6mm de diâmetro até 3mm. Tem maior presença de mosqueados. Cor: 2,5YR 7/3.

30-48cm: Horizonte menos resistente a faca, bastante mosqueado, onde aparecem grãos de vários tamanhos de laterita (1,3mm). Tem raízes finas e grãos de quartzo com 0,4mm de diâmetro, soltas em matriz arenosa. Com tubos pequenos, médios e grandes de atividade biológica. Cor 10YR 6/4.

48+cm: Horizonte mosqueado com grãos de 1,8mm de diâmetro, ainda com muitos grãos de laterita, mas menos resistente a faca e com mosqueado mais denso e escuro. Pouca presença de tubos de raízes. Mas contém grandes tubos de atividade biológica em estruturas pouco desenvolvidas, mas ainda com muitos poros. Cor: 10YR 6/6.

Transecto T5w- Lagoa, baixo pântano.

Coordenadas: 543122 Leste e 8265631 Norte.

Altitude: 456m.

Transecto T5w – Perfil 3

Atualmente o perfil está a 5,50m da borda da lagoa. Provavelmente ela irá secar. A cobertura vegetal é bem heterogênea, entre 50% e 40% composta por arbustos muito densos, com 3,5m de altura, com troncos espinhentos, folhas pequenas e separadas em tufos. Entre esta mata e a borda atual da lagoa há uma vegetação herbácea, composta de gramíneas, ainda em nascimento. Existem vários galhos, poucos grandes e muitos médios caídos, próximos a tufos de arbustos, em decomposição. A argila em superfície está começando a secar e trincar. Não há presença de erosão superficial nem areia. Embaixo dos arbustos há muita serapilheira. Localizada em uma depressão (lagoa conectada apenas nas chuvas ao rio Pandeiros). Relevo plano a suavemente inclinado.

0-7cm: camada com estruturas pequenas, bem desenvolvidas, já ressecadas, angulares, unidas por raízes pequenas e médias, com presença de tubos pequenos, talvez de atividade biológica. Presença de mosqueados na matriz. Cor: 10YR 5/4

7-20cm: Camada bastante argilosa, desenvolvida em pequenas placas com maior presença de mosqueados com presença abundante de raízes pequenas e médias. Estrutura de placas bem desenvolvidas. Presença de raízes em decomposição. Contém vários pequenos tubos. Cor: 10YR 3/1.

20-61cm: Camada sem estrutura desenvolvida, com vários tubos. Contém fissuras verticais, semiúmida, com menos manchas de mosqueado ainda em matriz muito argilosa. A presença de raízes reduz muito, apenas há algumas muito pequenas. Há vários tubos de atividade biológica. Cor: 7,5 YR 4/1.

61+cm: Horizonte com muita umidade, onde aflorou o nível freático. Há forte abundância de mosqueado sem estrutura desenvolvida e com vários tubos de atividade biológica, pequenos e grandes. Há poucas raízes finas, algumas em decomposição, onde se desenvolvem mosqueados. Cor 10YR 6/1.

Transecto T5w- Fundo da Lagoa, baixo pântano.

Coordenadas: 543075 Leste e 8265502 Norte.

Altitude: 456m.

Transecto T5w – Perfil 4

0-21cm: Horizonte superficial do fundo da lagoa temporária. Nesta época do ano está seca. É predominantemente argiloso, muito argiloso. Este horizonte superficial está fragmentado em blocos, fortemente estruturados, de forma angular, com tamanho entre 15x10 e 10x7cm. Possui muitos poros e algumas rachaduras (1mm) de espessura dentro de cada bloco. Sem presença de raízes. Leve cerosidade. Leve mosqueado no entorno dos poros. Estrutura extremamente agregada. Entre os blocos deste horizonte há grandes fendas com até 5cm de largura. Cor: 10YR 7/2

21-37cm: Horizonte predominantemente argiloso, sem raízes e com poucos poros. Alguns poros estão mosqueados no entorno. Estruturas em blocos tendendo a serem cilíndricos com até 13x6cm até blocos subangulosos, com até 5cm de cada lado. Horizonte também muito seco e com rachaduras e fendas entre os blocos, mas com distância menor do que o acima deste. Horizonte mais escuro que o anterior, mas não demonstra ser mais úmido. Cor: 10 YR 4/1.

37-70cm: Horizonte predominantemente argiloso, mais escuro que os mais superficiais, um pouco mais úmido, mas ainda fortemente estruturado em blocos, subangulosos e fortemente agregados. Possui alta plasticidade e cerosidade. Possui poucos poros pequenos e raros poros maiores, sem raízes. Há um mosqueado na matriz, principalmente próximo aos poros. Há muita presença de fragmentos de carvão, de vários tamanhos, variando de 1cm até 1mm de diâmetro. Também parece haver um pouco mais de areia na matriz. Os blocos variam em formas, de cilíndricos a subangulares, com tamanhos entre 15 e 7cm de altura e até 5cm de largura. Cor: 2,5 Y 5/1.

70+cm: Horizonte muito argiloso, com estrutura ainda em blocos, mais arredondados que os anteriores e bem mais úmidos, apesar do nível freático não aflorar. Também é o horizonte mais escuro. Possui blocos com 10x5cm até 4x4cm, mais arredondados. Possui leve mosqueado e muitos fragmentos de carvão. Há poucos pequenos poros e não há raízes. Apresenta plasticidade e pegajosidade. Cor: Gley 1 4/10Y.

Transecto T5w- área de moita, entre a lagoa e o rio, baixo pântano.

Coordenadas: 542788 Leste e 8265244 Norte.

Altitude: 458m.

Transecto T5w – Perfil 4

0-4cm: Camada argilosa, muito solta em pequenos blocos e poeira solta. Muitos galhos, fezes e algumas folhas secas. Pouca presença de pequenas e médias raízes. Sem estrutura e sem cerosidade. Cor: Gley 1 7/10Y.

4-21cm: Camada muito argilosa, estrutura em muitos pequenos blocos angulosos com leve cerosidade. Blocos entre 3 e 5cm. Média quantidade de poros e outras pequenas fendas. Raízes médias e finas. Cerca de 40% a 50% de mosqueado e blocos fortemente agregados. Sem presença de bioturbação. Cor: Gley 1 5/10Y

21+cm: Continua até pelo menos 83cm. Camada muito argilosa, estruturada em grandes blocos. Poucos e pequenos poros. Leve cerosidade, massa contínua, sem estrutura no interior dos blocos. Algumas fendas de até 3cm de largura. Mosqueado leve (até 20% da matriz). Cor: Gley 1 4/5GY