

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Heitor Carvalho Lacerda

**A INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E DE ASPECTOS DA
PAISAGEM SOBRE A CONFIGURAÇÃO DE HÁBITATS FÍSICOS DE RIACHOS
NO BIOMA NO CERRADO**

Belo Horizonte
2022

Heitor Carvalho Lacerda

**A INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E DE ASPECTOS DA
PAISAGEM SOBRE A CONFIGURAÇÃO DE HÁBITATS FÍSICOS DE RIACHOS
NO CERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Diego Rodrigues Macedo

Coorientador: Prof. Dr. Luís Felipe Soares Cherem

Belo Horizonte
2022

L131i Lacerda, Heitor Carvalho.
2022 A influência de parâmetros morfométricos e de aspectos da paisagem sobre a configuração de habitats físicos de riachos no bioma no cerrado [manuscrito] / Heitor Carvalho Lacerda. – 2022.
132 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Diego Rodrigues Macedo.
Coorientador: Luís Felipe Soares Cherem.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2022.
Área de concentração: Análise, Modelagem e Gestão de Sistemas Ambientais.
Bibliografia: f. 110-120.
Inclui apêndices.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Ecologia dos rios – Teses. 3. Geomorfologia – Teses. 4. Sistemas de informação geográfica – Teses. I. Macedo, Diego Rodrigues. II. Cherem, Luís Felipe Soares. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

A INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E DE ASPECTOS DA PAISAGEM SOBRE A CONFIGURAÇÃO DE HÁBITATS FÍSICOS DE RIACHOS NO CERRADO

HEITOR CARVALHO LACERDA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, como requisito para obtenção do grau de Mestre em ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS, área de concentração ANÁLISE, MODELAGEM E GESTÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS.

Dr. Diego Rodrigues Macedo – Orientador
UFMG

Dr. Luis Felipe Soares Cherem
UFG

Dr. Paulo dos Santos Pompeu
UFLA

Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega
UFMG

Belo Horizonte, 24 de fevereiro de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Affonso de Albuquerque Nobrega, Professor do Magistério Superior**, em 24/02/2022, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo dos Santos Pompeu, Usuário Externo**, em 24/02/2022, às 17:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Felipe Soares Cherem, Usuário Externo**, em 24/02/2022, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Diego Rodrigues Macedo, Professor do Magistério**



Superior, em 24/02/2022, às 17:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1268804** eo código CRC **B7ACC360**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha espiritualidade, que me fortalece no caminho do bem, me proporciona a fé racionada e a crença na evolução espiritual, intelectual e moral da humanidade, a qual também me impulsionou no desenvolvimento da presente dissertação, apesar das minhas limitações.

Agradeço a minha família, em especial a Sirley Carvalho da Silva Lacerda, minha mãe, ao Pedro Marcelo Carvalho Lacerda, meu pai, ao Lincoln Carvalho Lacerda, meu irmão, e a Nathália Veloso Trópia, minha namorada, que sempre me proporcionam suporte e incentivo para a minha formação pessoal e acadêmica. E a minha irmã Luísa, que não se encontra mais entre nós no plano terreno, mas sei de que onde estiver, está a velar por nós.

Agradeço aos meus amigos e colegas, que de alguma forma me deram suporte e auxiliaram no desenvolvimento da minha dissertação.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Sistemas Ambientais, da Universidade Federal de Minas Gerais, pela oportunidade de desenvolvimento intelectual e capacitação profissional. Agradeço em especial ao professor/orientador Diego Rodrigues Macedo do referido programa e ao coorientador Luís Felipe Soares Cherem (UFG), pelas orientações, paciência, companheirismo e oportunidades acadêmicas.

Agradeço aos projetos de pesquisa Programa Peixe Vivo/CEMIG (2009-2013), P&D ANEEL-CEMIG GT-487 e CRA 3147 FAPEMIG-CEMIG (2013-2017) e FAPEMIG-CEMIG APQ-01961-15 (2015-2018) e ao atual Projeto Proecos P&D Aneel GT599, os quais oportunizaram o levantamento de informações nos riachos no Cerrado e a construção do banco de dados utilizado na presente dissertação.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao projeto ao Projeto Brumadinho UFMG, pelo aporte financeiro através da concessão de bolsas, as quais possibilitou o desenvolvimento da presente dissertação.

RESUMO

Investigações recentes apontam que os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas e de rede de drenagem, alicerçados no conhecimento da geomorfologia, são importantes na configuração de habitats físicos de riachos. Apesar disso, as pesquisas que buscam compreender a configuração dos habitats físicos dos riachos em detrimento dos condicionamentos da paisagem exploram mais fatores antrópicos, do que aspectos geomorfológicos. Nesse sentido, constata-se uma fronteira do conhecimento sobre os habitats físicos de riachos e, essa fronteira é ainda maior, no contexto brasileiro. Desse modo, três questões orientaram a presente dissertação: 1) Os parâmetros morfométricos influenciam a configuração dos habitats físicos de riachos no Cerrado? 2) É possível afirmar que os parâmetros morfométricos possuem mais importância do que outros fatores geofísicos e que os distúrbios antropogênicos sobre os habitats físicos de riachos? 3) Os parâmetros morfométricos e os aspectos da paisagem influenciam de forma diferente a configuração dos habitats físicos de riachos, em uma perspectiva geral e por unidades hidrológicas? Portanto, o objetivo principal foi analisar a influência dos parâmetros morfométricos e os demais aspectos da paisagem, na escala de captação, sobre a configuração dos habitats físicos de riachos em diferentes unidades hidrológicas no bioma Cerrado. A metodologia se constituiu em seis etapas principais: i) seleção do Modelo Digital de Elevação; ii) a vetorização das bacias hidrográficas e rede de drenagem dos riachos em Sistemas de Informação Geográficas; iii) a mensuração dos parâmetros morfométricos; iv) a aquisição e preparação dos aspectos da paisagem; v) a seleção dos habitats físicos de riachos; vi) e a análise e modelagem dos dados. Foi construído modelos de regressões lineares generalizados na última etapa metodológica, tanto modelos gerais com todos os 199 riachos, quanto modelos específicos para as cinco unidades hidrológicas. Os resultados mostraram que os parâmetros morfométricos foram importantes influenciadores da configuração dos habitats físicos de riachos no Cerrado (Questão 1). Tanto os parâmetros morfométricos, quanto as formas de relevo, foram as variáveis explicativas mais importantes para os habitats físicos de riachos (Questão 2), confirmando a importância do conhecimento geomorfológico de bacias hidrográficas na configuração dos habitats físicos de riachos. E apesar de os modelos gerais apresentarem algumas semelhanças com os modelos por unidades hidrológicas, as particularidades de cada região foram significativas e devem ser consideradas na gestão de habitat em riachos no bioma Cerrado (Questão 3). A presente dissertação mostrou que para as futuras pesquisas e gerenciamento de recursos hídrico em riachos no Cerrado, como modelagem hídrica, monitoramento do ecossistema lótico, entre outras, as informações

geomorfológicas de bacia hidrográfica são pertinentes e devem ser consideradas. Além disso, aponta-se que os resultados são inéditos e poderá auxiliar gestores de recursos d'água no Cerrado em relação a saúde dos cursos d'água e na provisão de serviços ecossistêmicos. Os resultados também demonstraram que o uso de geotecnologias baseadas em sistemas de informação geográfica e sensoriamento remoto são relevantes para entender a configuração dos habitats físicos de riachos no Cerrado, viabilizando um monitoramento mais ágil e menos oneroso.

Palavras-chave: Ecologia fluvial; Escala de Captação, Geomorfologia Fluvial, Sistemas de Informação Geográfica.

ABSTRACT

Recent investigations indicate that the morphometric parameters of watersheds and drainage network, based on the knowledge of geomorphology, are important in the configuration of physical habitats of streams. Despite this, research that seeks to understand the configuration of the physical habitats of streams to the detriment of landscape conditioning explores more environmental and anthropic factors, such as land use and cover, than geomorphological aspects. In this sense, there is a frontier of knowledge about the physical habitats of streams, and this frontier is even greater in the Brazilian context. Thus, three questions guided this dissertation: 1) Do the morphometric parameters influence the configuration of the physical habitats of streams in the Cerrado? 2) Is it possible to say that the morphometric parameters have more importance than other geophysical factors and that anthropogenic disturbances on the physical habitats of streams? 3) Do morphometric parameters and landscape aspects influence the configuration of physical stream habitats differently, in a general perspective and by hydrological units? Therefore, the main objective was to analyze the influence of morphometric parameters and other aspects of the landscape, at the catchment scale, on the configuration of physical habitats of streams in different hydrological units in the Cerrado biome. The methodology consisted of six main steps: i) selection of the Digital Elevation Model; ii) vectorization of hydrographic basins and the drainage network of streams in Geographic Information Systems; iii) measurement of morphometric parameters; iv) acquisition and preparation of landscape features; v) selection of physical stream habitats; vi) and data analysis and modeling. Generalized linear regression models were constructed in the last methodological step, both general models with all 199 streams and specific models for the five hydrological units. The results showed that the morphometric parameters were important influencers of the configuration of the physical habitats of streams in the Cerrado (Question 1). Both morphometric parameters and landforms were the most important explanatory variables for the physical habitats of streams (Question 2), confirming the importance of geomorphological knowledge of watersheds in the configuration of physical stream habitats. And although the general models have some similarities with the models by hydrological units, the particularities of each region were significant and should be considered in the management of the quality of water courses in the Cerrado biome (Question 3). The present dissertation showed that for future research and management of water resources in streams in the Cerrado, such as water modeling, monitoring of the lotic ecosystem, among others, the geomorphological information of the watershed is relevant and should be considered. In addition, it is pointed out

that the results are unprecedented and can help managers of water resources in the Cerrado in relation to the health of water courses and the provision of ecosystem services. The results also showed that the use of geotechnologies based on geographic information systems and remote sensing are relevant to understand the configuration of the physical habitats of streams in the Cerrado, enabling a more agile and less costly monitoring.

Keywords: River ecology; Catchment Scale, Fluvial Geomorphology, Geographic Information Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação de uma bacia hidrográfica, sub-bacia, cursos d'água e a foz.....	23
Figura 2. Representação dos leitos de um curso d'água.....	23
Figura 3. Representação de zonas de degradação e agradação em um perfil longitudinal de rio.	24
Figura 4. Proposta de hierarquização das drenagens de Strahler (1952a) em A e a proposta de Horton (1945) em B.....	27
Figura 5. Representação gráfica de curvas hipsométricas.....	31
Figura 6. Representação esquemática das influencias dos fatores geodinâmicos da paisagem e pressões antrópicas na escala de bacia hidrográfica sobre os habitats locais e biota aquática na escala local do curso d'água e margem.	32
Figura 7. Multi-escalas para avaliação de habitats físicos e sobre a dinâmica desses ambientes.	33
Figura 8. Fluxograma da metodologia geral.....	41
Figura 9. Localização das Unidades Hidrológicas de Reservatórios Hidroelétricos e dos sites amostrais de habitats físicos de riachos.....	42
Figura 10. Representação da Geologia das Unidades Hidrológicas, a partir de mapa geológico e perfil transversal topográfico.	44
Figura 11. Representação do Uso e Cobertura da Terra de 2010 das Unidades Hidrológicas e os respectivos sites amostrais de habitats físicos de riachos.	47
Figura 12. Mapa de localização da área de estudo e das amostras de referência utilizadas no estudo.....	49
Figura 13. Vetorização das bacias hidrográficas e das respectivas drenagens.....	52
Figura 14. Exemplo de três funções criadas para calcular os parâmetros morfométrico em linguagem R.....	54
Figura 15. Curva Hipsométrica Normalizada para o ACP de dois sites amostrais, afim de averiguar a coerência entre os resultados gerados pelo <i>plugin NProfiler</i> para o cálculo da HI e o resultado gerado em planilha eletrônica.	56
Figura 16. Etapas realizadas para tornar a drenagem hidrologicamente consistente a partir do algoritmo passa-baixa.	57
Figura 17. Expressão gráfica e dos valores gerados para o Índice de Concavidade da drenagem a partir do uso do algoritmo “Passa-Baixo” antes e depois da aplicação.	59
Figura 18. Representação de uma bacia hidrográfica com os tipos de solos e porcentagem de área ocupada à esquerda e de tipos de rochas e porcentagem de área à direita.	61

Figura 19. Ilustração dos 10 relevos mais comuns identificados pela proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013).....	62
Figura 20. Representação da bacia hidrográfica a partir das formas de relevo classificada pelo método geomorphons.	63
Figura 21. Representação da Curvatura Geral mediante a combinação entre as curvaturas horizontal (plana) e vertical (perfil).	64
Figura 22. Formas de Relevo para uma bacia hidrográfica baseado na proposta de curvaturas perfil, planar e geral.....	65
Figura 23. Informações acerca das variáveis Orientação das Vertentes e Declividade.	66
Figura 24. <i>Model Builder</i> construído para otimização da rotina de processamento dos dados referente as formas de relevo, declividade e orientação das vertentes.	67
Figura 25. Representação esquemática do processo de classificação do uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas dos riachos em estudo.	69
Figura 26. Esquema explicativo da forma do particionamento em seções transversais e transectos dos riachos para avaliação dos habitats físicos.).	70
Figura 27. Altura e largura do leito sazonal, fotografia registrada em setembro de 2009 na unidade hidrológica de Nova Ponte, na bacia hidrográfica do rio Araguari.	72
Figura 28. Modo de mensuração da declividade do trecho do rio em avaliação. Fonte: Peck et al. (2006).....	73
Figura 29. Modo de mensuração do tamanho dos substratos a partir dos transectos principais e intermediários no trecho do riacho em avaliação.	73
Figura 30. Modo de mensuração dos tipos de fluxo. Fotografia registrada no momento da avaliação de um riacho na unidade hidrológica de Nova Ponte, bacia hidrográfica do alto rio São Francisco, em setembro de 2009.	74
Figura 31. Resultado dos parâmetros morfométricos lineares para as bacias hidrográficas das unidades hidrológicas.	77
Figura 32. Resultado dos parâmetros morfométricos da classe zonal das bacias hidrográficas por unidades hidrológicas.	79
Figura 33. Resultado dos parâmetros morfométricos da classe hipsométrica das bacias hidrográficas por unidades hidrológicas.	80
Figura 34. Aspectos da paisagem por unidade hidrológica.	83
Figura 35. Métricas de habitats físicos de riachos por unidade hidrológica.	87
Figura 36. Representações gráficas de tendências de variáveis que são influenciadas pela presença de arenitos.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Síntese de estudos realizados no Brasil que utilizaram parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas em estudos de habitats físicos de riachos.	36
Tabela 2. Síntese de estudos realizados no exterior que utilizaram parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas em estudos de habitats físicos de riachos.	37
Tabela 3. Informações sobre os Modelos Digitais de Elevação.	48
Tabela 4. Métricas de Habitats Físicos de Riachos	71
Tabela 5. Principais características da paisagem encontradas nas bacias hidrográficas dos riachos de cada unidade territorial.	82
Tabela 6. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo geral e para os modelos explicativos por unidade hidrológica.	88
Tabela 7. Distribuições estatísticas encontradas para cada variável resposta na perspectiva geral e por unidade hidrológica.	89
Tabela 8. Resultado da modelagem geral e por unidade hidrológicas das métricas de habitats físicos e em função das variáveis da paisagem mais importantes.	94
Tabela 9. Variáveis explicativas selecionada para o modelo geral.	121
Tabela 10. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de São Simão.	123
Tabela 11. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Nova Ponte.	125
Tabela 12. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Volta grande.	127
Tabela 13. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Três Marias.	129
Tabela 14. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Pandeiros.	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas da classe linear.	52
Quadro 2. Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas da classe zonal.....	53
Quadro 3. Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas da classe hipsométrico.	53
Quadro 4. Classes de litotipos originais e classes agregadas a partir de afinidades genética, mineralógica e susceptibilidade.....	60

LISTA DE SIGLAS

ALOS – *Advanced Land Observing Satellite*

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Áreas de Proteção Ambiental

ASTER – *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*

CEMIG – Companhia de Energia de Minas Gerais

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

JAXA - *Japan Aerospace Exploration Agency*

LIDAR - *Light Detection and Ranging*

LPT – Padrões Ternários Locais

MDE – Modelo Digital de Elevação

METI – *Ministry of Economy, Trade and Industry*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

NIMA – *National Imagery and Mapping Agency*

PPP – Posicionamento por Ponto Simples

PRISM – *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados

VNIR – *Visible and Near-Infrared*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Objetivo Principal	18
1.1.2 Objetivos Específicos.....	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Teoria Geral dos Sistemas	18
2.2 Geomorfologia Fluvial.....	20
2.3 Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas	24
2.4 Habitats Físicos de Riachos	31
2.5 Influência de Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas sobre Habitats Físicos de Riachos.....	34
3 METODOLOGIA.....	40
3.1 Caracterização Socioambiental das Unidades Hidrológicas.....	41
3.2 Seleção do Modelo Digital de Elevação	47
3.3 Vetorização das Bacias Hidrográficas e das Drenagens	50
3.4 Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas	52
3.5 Aspectos da Paisagem.....	60
3.6 Habitats Físicos de Riachos	69
3.7 Análise Estatística.....	75
4 RESULTADOS	77
4.1 Parâmetros Morfométricos nas Unidades Hidrológicas	77
4.2 Aspectos da Paisagem nas Unidades Hidrológicas.....	80
4.3 Habitats Físicos de Riachos nas Unidades Hidrológicas	85
4.4 Análise da Modelagem Ambiental	88
5 DISCUSSÃO.....	98
5.1 A relação dos Parâmetros Morfométricos e dos Aspectos da Paisagem com os Habitats Físicos de Riachos nos riachos do Cerrado.	99
5.2 Importantes relações dos Parâmetros Morfométricos e Aspectos da Paisagem com os Habitats Físicos de Riachos nas Unidades Hidrológicas.	101
5.3 A importância da escala de captação para o gerenciamento de riachos do Cerrado.....	106
6 CONCLUSÕES.....	107
7 REFERÊNCIAS	110
8 APÊNDICES	121
8.1 Apêndice I. Seleção de Variáveis Explicativas.....	121

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos e os ecossistemas aquáticos continentais são os ambientes mais acometidos no mundo pelas ações antrópicas (DUDGEON et al., 2006), até mais que os ambientes terrestres, que estão em transformações constantes pela ação humana (SALA et al., 2000). Os impactos negativos nos ambientes aquáticos são decorrentes de ações variadas, tais como o despejo irregular de dejetos, manejo irregular de ambientes produtivos, alta taxa de erosão e despejo de resíduos químicos (SYVITSKI et al., 2005; WILKINSON, 2005).

Os países do hemisfério sul, que tiveram história tardia de desenvolvimento econômico comparados aos países do hemisfério norte, como é o caso do Brasil, ameaçam a qualidade da água e seus respectivos ecossistemas pelo rápido, intenso, extenso e controverso desenvolvimento agropecuário, urbano e minerário, sendo urgente a proteção, a recuperação e o planejamento de ações que direcionem esforços para atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (CARON, 2020; DE MELLO THÉRY).

No território brasileiro, o bioma Cerrado é um exemplo de região altamente afetada pelas ações antrópicas, principalmente devido a sua aptidão para as atividades agrárias (DINIZ-FILHO et al., 2008), o que causa a perda de vegetação nativa, a fragmentação florestal e dos habitats. Por esta razão, atualmente o Cerrado é considerado um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (MYERS et al., 2000). Não obstante, tais transformações levam ao desequilíbrio dos ambientes aquáticos, uma vez que é necessária a retirada de água para irrigação dos cultivos e é comum o fluxo de sedimentos e o excesso de nutrientes serem direcionados para os cursos d'água mais próximos (KARR, 1999). Investigações em riachos no Cerrado mostram que a qualidade da água e dos ecossistemas são afetados por perturbações antropogênicas (AGRA et al., 2021; MARTINS et al., 2020), por exemplo, 65% das bacias hidrográficas de riachos a montante de quatro reservatórios hidroelétricos no Cerrado foram classificadas com alta e extrema fragilidade ambiental (MACEDO et al., 2018)

A avaliação da qualidade ambiental dos sistemas fluviais perpassa por diferentes abordagens, alicerçadas por parâmetros e indicadores físicos, químicos e biológicos, como pH da água, quantidade e tipo de sedimento no leito, profundidade do talvegue, número e espécies de peixes e macroinvertebrados etc. (FAUSTINI; KAUFMANN; HERLIHY, 2009). A compreensão do padrão da qualidade ambiental desses ambientes fluviais é mais complexa e abrange um equilíbrio dinâmico de diferentes fatores socioambientais interrelacionados, como o clima pretérito e atual, o substrato rochoso, os diferentes solos, a disposição do relevo e a relação do

homem com o uso da terra (LINTERN et al., 2018; SHI et al., 2017). Também, é importante ressaltar, que o padrão da qualidade de ambientes fluviais não só merece atenção na perspectiva dos múltiplos aspectos socioambientais, mas também a partir de múltiplas escalas geográficas, seja em uma perspectiva restrita ao leito dos rios, em zonas ribeirinhas ou a nível de bacias hidrográficas (LEAL et al., 2016; LINTERN et al., 2018; SHI et al., 2017).

Entre os fatores geodinâmicos que podem auxiliar na avaliação da qualidade dos cursos d'água, processos geomorfológicos e hidrológicos possuem potencial de aclarar questões que são a base para a estruturação dos habitats físicos fluviais (FAUSTINI; KAUFMANN; HERLIHY, 2009; KAUFMANN et al., 1999), os quais influenciam diretamente na organização e diversidade de assembleias aquáticas, como espécies de macroinvertebrados e peixes (MACEDO et al., 2014a; ALLAN, 2004;). No entanto, mesmo que a literatura tenha apontado importância dos parâmetros geomorfológicos e hidrológicos sobre a configuração dos habitats físicos de riachos, uma revisão recente ressalta a aplicação demasiada de variáveis de uso e cobertura da terra, as quais são menos efetivas para predição da configuração física dos riachos quando comparadas com parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas e de rede de drenagem que, por sua vez, são pouco exploradas (MILES, 2020).

Os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas revelam importantes processos e estágios evolutivos da bacia hidrográfica, como estado atual dos processos erosivos, o potencial da força gravitacional no escoamento superficial e nos canais do rio, devido a sua inclinação, a identificação da susceptibilidade a cheias rápidas, o tempo de contração das chuvas nas bacias, o estágio evolutivo da bacia hidrográfica, dentre outros processos e diagnósticos (CHEREM et al., 2020). A relevância dos processos revelados pela geomorfologia tem respaldo em alguns estudos, como em relação da largura molhada do canal explicada pela área de captação (Morel et al., 2020), a declividade e o comprimento do canal principal correlacionado a diferentes tamanhos de substratos (NAURA et al., 2016), a declividade média bacia relacionado a morfologia do canal (BIEGER et al., 2016), por exemplo.

Investigações que buscam entender a relação entre os parâmetros morfométricos e os habitats físicos de riacho são recentes no território brasileiro (p. e. BENONE et al., 2017; LEAL et al., 2016; MOLINA et al., 2017) e nenhuma pesquisa abrange o Cerrado. Já no exterior, um número mais amplo de pesquisas busca entender os habitats físicos de riachos a partir de parâmetros morfométricos, porém assim como no Brasil, os estudos ainda são muito limitados à algumas poucos parâmetros morfométricos (FRAPPIER; ROBERT, 2007; MOREL et al., 2020; RICHARDS, JOHNSON; HOST, 1996; WANG et al., 2013), considerando o conjunto muito

maior de possibilidades (CHEREM et al., 2020). Dessa forma, constata-se uma fronteira do conhecimento de habitats físicos de riachos a ser explorada no Cerrado brasileiro.

Nessa perspectiva, entender a possível influência dos parâmetros morfométricos nos riachos de diferentes unidades hidrológicas do Cerrado, em detrimento de outros aspectos da paisagem, pode contribuir para o conhecimento holístico dos fatores que influenciam a configuração dos habitats físicos de riachos no referido bioma e, assim, pode viabilizar e embasar uma gestão moderna, preventiva e racional dos recursos hídricos e dos ecossistemas aquáticos (MACEDO, 2013). Além disso, as Nações Unidas propuseram dois objetivos globais relacionados à preservação, disponibilidade e gestão das águas e dos ecossistemas aquáticos, como os objetivos 14 e 15 (água potável e saneamento, e de vida terrestre; UN, 2016).

As investigações que buscaram compreender a configuração dos habitats físicos de riachos a partir de aspectos da paisagem na escala de captação, como os parâmetros morfométricos, indicam que os dados provenientes de SIG são capazes de prever muitas características dos riachos e são recomendadas para o gerenciamento de recursos hídricos (AMES et al., 2009; MOREL et al., 2020; NAURA et al., 2016). No Reino Unido, por exemplo, onde as informações geradas a partir de SIG foram úteis para prever muitas características de habitat de riachos e auxiliou na gestão dos riachos (JEFFERS, 1998). O desenvolvimento das tecnologias espaciais e da ciência de dados que auxiliam a abordar uma diversidade de informações pertinentes aos habitats físicos na escala de captação é um dos motivos para o uso de SIG, além disso, trata-se de uma abordagem de baixo custo (MILES, 2020).

Desse modo, as seguintes questões foram consideradas pertinentes e nortearam a presente investigação: 1) Os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas e de drenagem influenciam a configuração dos habitats físicos de riachos no Cerrado? 2) É possível afirmar que os parâmetros morfométricos possuem mais importância do que outros fatores estruturais da paisagem (p.ex. clima, geologia, solos) e que os efeitos colaterais do uso e cobertura da terra sobre os habitats físicos de riachos? 3) Os aspectos da paisagem e os parâmetros morfométricos influenciam de forma diferente a configuração dos habitats físicos de riachos, em uma perspectiva geral e por unidades hidrológicas?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Principal

Analisar a influência da paisagem e da morfometria de bacias hidrográficas sobre a configuração de habitats físicos fluviais em diferentes unidades hidrológicas de reservatórios elétricos no bioma Cerrado.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Investigar quais classes de parâmetros morfométricos, linear, zonal e hipsométrico, explicam melhor as informações de habitat físicos de riachos selecionada nos conjuntos de morfologia do canal, substratos e fluxos.
- Avaliar se os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas possuem maior importância sobre a variabilidade dos habitats físicos em comparação aos aspectos demais fatores geodinâmicos da paisagem e as atividades antropogênicas (variáveis climatológicas, diversidade litológica e pedológica, uso e cobertura da terra).
- Comparar a influência dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas com as características da paisagem sobre os habitats físicos de riachos, levando em consideração todas as unidades hidrológicas estudadas (São Simão, Volta Grande, Nova Ponta, Três Marias e Pandeiros) e as mesmas separadamente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Teoria Geral dos Sistemas

Na década de 30 do século XX, foi proposto por Dufay nos Estados Unidos a Teoria Geral dos Sistemas (TGS), porém foi Bertalanffy que alguns anos depois implementou as primeiras premissas na biologia e na termodinâmica (MAGALHÃES, 2012). Nessa perspectiva, Bertalanffy desenvolveu suas ideias com base na TGS a partir de vários trabalhos acadêmicos, que resultou na obra *General System Theory*, propondo uma teoria integradora e interdisciplinar, em contraposição ao reducionismo em voga na época que apresentava uma fragmentação intransponível entre os campos científicos (VON BERTALANFFY, 1973).

A TGS proposta por Von Bertalanffy (1973) concatenou as premissas filosóficas da nova abordagem científica, construindo uma abordagem teórico-conceitual que buscava compreender o mundo ao abordar problemas científicos dos sistemas, tanto empíricos, quanto

pragmáticos, através da totalidade, holística e interdisciplinaridade (ALVES COSTA, 2007). A aceitação gradual da TGS foi evidenciada nas ciências biológicas e físicas, e antigos conceitos foram resgatados, como ecossistemas, subsistemas, pedosistemas, agroecossistemas etc. (ALVES COSTA, 2007).

Dentre os importantes saberes promovidos pela abordagem da TGS, a ideia de que os subsistemas são uma intelectual compartimentação da estrutura e organização do sistema maior, que permite promover estudos em contextos mais simplificados, é uma premissa que merece destaque (CHORLEY; KENNEDY, 1971). Entretanto, os subsistemas se interagem e merecem atenção sobre o todo, podendo assim resolver questões na ordem e organização que torna os sistemas uma unidade, isto é, a dinâmica dos sistemas analisado unificadamente pode revelar comportamentos diferentes quando as partes são analisadas separadamente (VON BERTALANFFY, 1973).

Em 1971, Chorley e Kennedy usaram de conceitos da TGS para desenvolvimento de uma abordagem sistêmica na Geografia Física, a partir da obra *Physical Geography - A system approach*, auxiliando no desenvolvimento e compreensão de fenômenos espaciais (MAGALHÃES, 2012). A referida obra permitiu a análise do comportamento de fenômenos espaciais a partir de uma nova perspectiva, a partir de sistemas que são compostos de vários subsistemas de hierarquia inferior, empregando a interdisciplinaridade, o horizonte holístico e a totalidade (ALVES COSTA, 2007). A abordagem holística sistêmica foi um ganho no entendimento dos fenômenos espaciais do ambiente físico, os quais são possíveis compreender através de organizações no espaço e funcionamento nas diferentes unidades (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os sistemas ambientais físicos devem ser compreendidos, pois assim, pode-se evitar consequências que geram desequilíbrios e prejuízos a humanidade e aos ecossistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999). A compressão das múltiplas características dos sistemas ambientais deve ser levado em consideração quando o pesquisador for realizar uma modelagem e análise de sistemas, uma vez que é considerado um processo mental de abstração do sistema ambiental em perspectiva (CHRISTOFOLETTI, 1999). E em vias de auxiliar o pesquisador sobre o processo de análises de sistemas ambientais, Campbell (1958) preconizou premissas a fim de contornar a subjetividades de cientistas que são de diferentes áreas de formação acadêmicas, sendo elas:

1. Proximidade espacial entre as unidades;

2. Semelhança entre as unidades;
3. Objetos comuns entre as unidades;
4. Padrões distintos e semelhantes entre as unidades;

Dessa maneira, é comum os sistemas ambientais físicos possuírem dependência espacial devido a distância entre os objetos estudados e, a não consideração desse conhecimento e das demais premissas propostas por Campbell (1958), pode levar a prejuízos (Christofolletti, 1999).

Os sistemas são para Chorley e Kennedy (1971) um conjunto de objetivos estruturados, os quais são compostos por variáveis que são inter-relacionais e empreendem conjuntamente uma totalidade complexa. Já para Haigh (1985), os sistemas são considerados uma totalidade gerada através da integração de um agrupamento estruturado das partes, ou subsistemas, que resultam em um comportamento e estrutura que não pode ser percebida quando os subsistemas estão avaliados de forma separada.

A classificação de sistemas pode advir de diferentes critérios, sendo alguns desses mais significativos para a avaliação dos sistemas ambientais físicos, como é o critério de sistemas funcionais proposto por Forster Rapport e Trucco, como isolados e não-isolados (Christofolletti, 1999). Os sistemas isolados se referem a sistemas que não trocam matéria e energia com sistemas externos (Argento, 2008), enquanto os sistemas não-isolados possuem relação estabelecida com outros sistemas externos. Não obstante, Christofolletti (1999) diz que os sistemas não-isolados podem ser considerados fechados, isto é, não cambiam matéria com outros sistemas, mas podem trocar energia, e sistemas não-isolados abertos, os quais trocam continuamente matéria e energia com outros sistemas.

2.2 Geomorfologia Fluvial

O ramo da Geografia denominado de Geomorfologia é um campo científico que estuda as formas da terra, os processos de formação e seus materiais (MAGALHÃES JUNIOR; DE BARROS, 2020). O objeto de estudo da geomorfologia, o relevo, é o resultado de processos endógenos e exógenos, sendo que, respectivamente, o primeiro processo é controlado por fatores passivos, como o arcabouço geológico, e ativos, como processos tectônicos, plutonismo e vulcanismo, responsáveis pela compartimentação estrutural do relevo (Junior e de Barros, 2020). Já o segundo processo, exógeno, é caracterizado pela interação climática, a ação da biota e das atividades humanas, os quais realizam o processo de esculturação do relevo (MAGALHÃES JUNIOR; DE BARROS, 2020).

Um dos campos da Geomorfologia é a interação de tais conhecimentos do relevo com processos hidrológicos, sendo esta combinação denominada de Geomorfologia Fluvial, a qual objetiva compreender a estruturação espacial e evolução temporal da rede hidrográfica, além do seu comportamento em diferentes contextos (MAGALHÃES JUNIOR; DE BARROS, 2020). A busca por compreensão da evolução da paisagem fluvial, seu estado atual e os cenários posteriores dessas paisagens são abordagens conhecidas da Geomorfologia Fluvial (THORNDYCRAFT; BENITO; GREGORY, 2008).

A Geomorfologia Fluvial, tipicamente, se dispôs de duas abordagens entre os pesquisados, uma a qual busca desenvolver as concepções teóricas e metodológicas, e outra que visa aprofundar nas estratégias mais aplicadas da teoria (THORNE et al., 2005). A primeira abordagem se dedicou especificamente em investigações sobre paleoambientes fluviais (MIALL, 2006; THORNE et al., 2005), classificação de estratificações deposicionais e datação de sobreposições aluviais, além de reconstrução do entendimento da evolução morfodinâmica e morfogenética dos sistemas fluviais (THOMAS, 2008; SCHUMM, 2005)

Já a segunda abordagem, com viés mais aplicado ao entendimento teórico que alicerçava as bases do entendimento do comportamento fluvial, foi significativamente desenvolvida a partir do século XX, uma vez que autores como Horton (1945), Strahler (1952a) e Shumm (1956), desenvolveram parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas que possibilitaram avançar sobre as investigações e o conhecimento no campo da Geomorfologia fluvial. Não tardou e, na década de 1990, os avanços tecnológicos da área de geoprocessamento, geocronologia e sensoriamento remoto possibilitaram análises de maneira ampla sobre os sistemas fluviais e seu comportamento (THORNDYCRAFT; BENITO; GREGORY, 2008).

Fatores Controladores da Dinâmica Fluvial

Os sistemas fluviais podem ser concebidos a partir da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), isto é, os sistemas fluviais são ambientes abertos, visto que estão frequentemente trocando matéria e energia com seu entorno (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020). Os componentes de entorno são entendidos como variáveis internas, por exemplo a declividade do terreno, o tipo de substrato rochoso e tipos de solos, a composição e carga de sedimentos, já as variáveis externas, consistem nas atividades tectônicas, clima e as atividades antrópicas, os quais são independentes do sistema fluvial, pois não são influenciados pelo o que ocorre dentro do referido sistema (CHARLTON, 2007).

A ideia de equilíbrio dinâmico dos sistemas fluviais entre as variáveis internas e externas é compreendida como a troca de matéria e energia que regula e ajusta o sistema fluvial (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020). O equilíbrio dinâmico de sistemas fluviais trás o conhecimento de que pequenos ajustes são comuns nos sistemas fluviais, ocasionado entrada e troca de material (água pluvial, entrada e deposição de sedimentos no leito e margem dos rios) e balanço energético (fluxo de água, potencial de arraste de sedimentos), porém grandes ajustes ocorrem, mas são incomuns (atividades tectônicas, mudança de regime climático; BARROS E JÚNIOR, 2020).

Dessa forma, compreender o equilíbrio dinâmico dos sistemas fluviais, a partir dos processos atuantes, perpassa por entender a relação entre as variáveis internas e externas. A consequência de alterações no ajuste do equilíbrio dinâmico dos sistemas fluviais são alterações nos perfis longitudinais, transversais, morfologia do canal (e entorno), além de alterações no fluxo d'água, energia potencial de arraste de sedimentos etc. (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

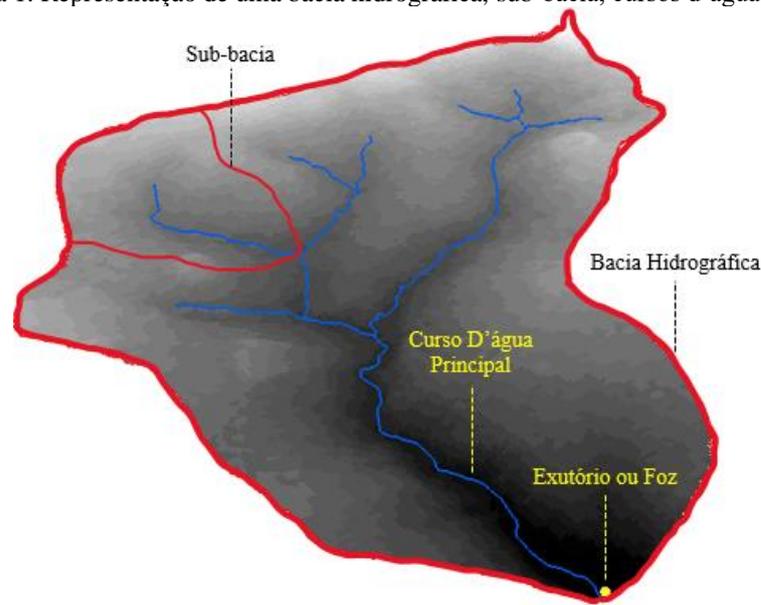
Unidades Espaciais de Estudo e Elementos do Sistema Fluvial

Os enfoques adotados para os estudos da geomorfologia fluvial são realizados com diferentes objetivos, abordagens e escalas espaço-temporais e, dessa forma, diferentes unidades espaciais e elementos do sistema fluviais devem ser aclarados para entendimento dos possíveis processos concernentes (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2020).

A bacia hidrográfica é considerada um sistema ambiental que é definido a partir da estrutura da rede de drenagens e limitado pelos interflúvios (divisores topográficos), na qual as drenagens menores contribuem para uma drenagem principal, que por fim, é extravasado a partir da foz (Figura 1) para uma bacia maior ou diretamente para os oceanos (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2020).

Em relação a classificação de bacias hidrográficas, o termo sub-bacias é comumente utilizada para análise internas e comparativas de pequenas bacias dentro de uma bacia mais abrangente (Figura 1), já os termos microbacia, mesobacia e macrobacia são termos que merecem ponderação, visto que é um critério relativo e em discordância por diversos autores (JUNIOR et al., 2020). O tamanho da bacia hidrográfica pode influenciar na proporção de sedimentos específicos que ficam armazenados no seu interior, diferentemente de bacias hidrográficas menores, principalmente de bacias de cabeceiras (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020, 2020).

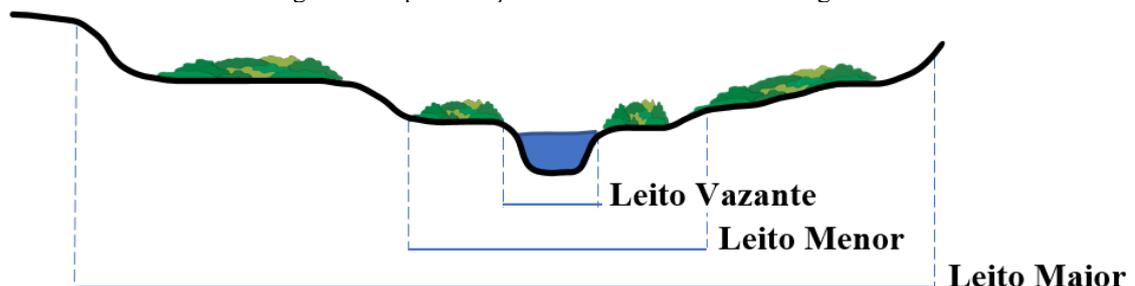
Figura 1. Representação de uma bacia hidrográfica, sub-bacia, cursos d'água e a foz.



Os cursos d'água são elementos lineares que compõe a rede hidrográfica das bacias hidrográficas, considerados ambientes lóticos em movimento (Figura 2), tanto perene, quanto intermitente e efêmeros, sendo influenciado por variáveis internas e externas que modificam a qualidade da água e dão condições as comunidades biológicas (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2020).

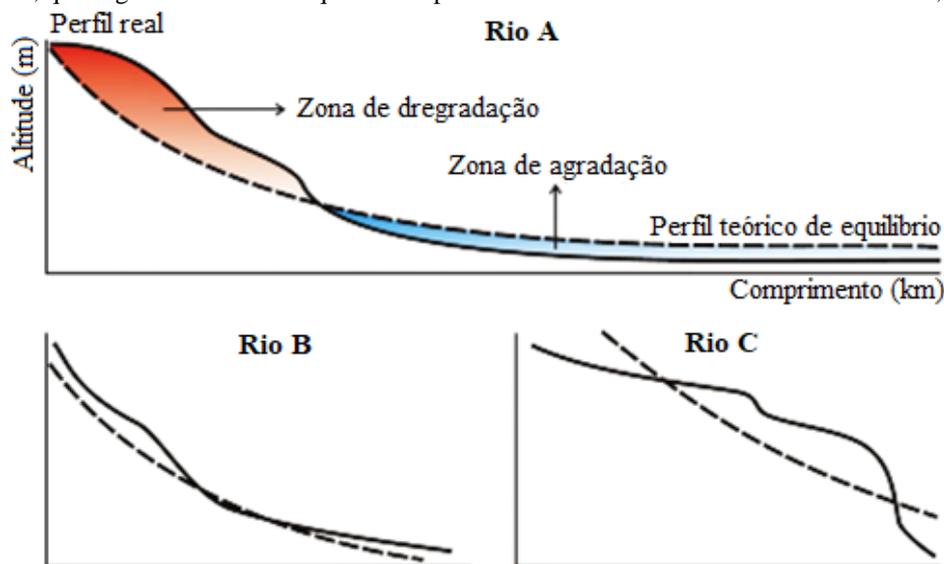
A estrutura interna, e do entorno próximo do curso d'água, são compostos por diferentes arranjos: acerca dos leitos fluviais se pode dividir em duas composições principais, como leitos aluviais (fundo do leito composto por sedimentos aluviais) ou leitos rochosos (fundo de leito composto por substratos rochosos); as margens fluviais, relacionadas a estabilidade do leito, influencia na estabilidade dos cursos d'água (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2020). Em relação a sua abrangência no vale, os leitos fluviais podem ser divididos em (Figura 2): leito menor, seção estruturada onde há a descarga plena das águas e possui capacidade maior de alteração morfológica do canal; leito vazante, encaixado no talvegue, onde o rio corre durante a época de estiagem; e leito maior, zona de entorno onde há extravasamento das águas do leito menor em épocas de chuvas e inundações (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2020).

Figura 2. Representação dos leitos de um curso d'água.



O rio também pode ser analisado em relação ao seu perfil longitudinal, o que permite identificar a influência da resistência de litoestrutural na dinâmica fluvial, visto que as bacias hidrográficas com substratos rochosos uniformes e sem atividade tectônica apresentam perfis côncavos à retilíneos, enquanto cursos d'água em ambientes tectonicamente ativos e com diversidade de substratos rochosos mais e menos resistentes apresentam perfis convexos, rupturas de declive e importância dos níveis de base local (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2020). Os perfis longitudinais côncavos, por exemplo, podem sinalizar para tempos de maior fluxo e menor capacidade de arraste de sedimentos grosseiros (PAZZAGLIA, 2013). Além disso, o perfil longitudinal de um rio pode ser diferenciado por trechos de zona de degradação (Figura 3), o qual aponta para trechos com maior energia potencial gravitacional e maior capacidade de arraste de sedimentos grossos e, zona de agradação, com trechos onde recebe sedimentos e possui baixa energia (BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2020).

Figura 3. Representação de zonas de degradação e agradação em um perfil longitudinal de rio. O rio A representa um modelo teórico de ajuste do perfil longitudinal sobre um rio, no qual é apontado as áreas comuns de degradação e de agradação. O rio B representa um perfil longitudinal predominantemente côncavo, com estado de equilíbrio hipotético. O rio C é uma representação de um perfil longitudinal predominantemente convexo, que sugere um forte desequilíbrio hipotético. Fonte: Modificado de Júnior e Barros, 2020.



2.3 Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas

Antes do desenvolvimento dos parâmetros morfométricos, iniciada na metade do século XX, a análise dos processos e condicionantes geomorfológicos eram realizados a partir de investigações com abordagem qualitativa, sobre as formas geométricas, sendo difícil gerar compreender as particularidades das diferentes superfícies terrestres (ALVES; CASTRO, 2003). Os principais autores precursores desse ramo analítico da geomorfologia nesse período foram Horton (1945), Strahler (1952a;b), Schumm (1956) e Chorley (1962), os quais

implementaram parâmetros e índices morfométricos baseado em relações matemáticas dos elementos espaciais para explicar os processos e comportamento dos cursos d'água e demais dinâmicas das bacias hidrográficas (CHEREM et al, 2020).

Os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas faz parte da geomorfologia quantitativa, a qual busca analisar os processos de morfogênese e morfodinâmica da paisagem a partir de um conjunto de variáveis internas de bacias hidrográficas muitas das vezes relacionadas, como: os valores medidos da rede de drenagem, formas das bacias e aspectos do relevo (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A bacia hidrográfica, unidade espacial central para aplicação dos parâmetros morfométricos, é o objeto de estudo dessa abordagem da geomorfologia e, seus componentes internos, ao serem mensurados e relacionados, propiciam apontar quais processos estão ocorrendo na bacia em análise, assim como seu estágio evolutivo etc. (CHEREM et al, 2020).

As aplicações dos parâmetros morfométricos podem ser realizados em diferentes escalas espaciais, como bacias hidrográficas continentais às sub-bacias, e temporais (SCHUMM; LICHTY, 1965), sendo essa perspectiva mais difícil de apreender, visto o longo tempo necessário de mudança das estruturas internas das bacias hidrográficas. Não obstante, tais parâmetros morfométricos, são reconhecidos por subsidiar à gestão ambiental em pequenas escalas, por permitir compreender comportamentos hidrológicos por exemplo, viabilizando o planejamento territorial e de tomada de decisão, como para abastecimento, inundações, enchentes e assoreamentos (PATTON; BAKER, 1976). Por outro lado, análises em grandes espaço-temporal em grandes escalas permitem compartimentar o relevo, realizar análise de estrutura, compreender a evolução do relevo e da sua rede de drenagem (CHEN; CHAU; BUSARI, 2015; COUTO et al., 2012; ETCHEBEHERE et al., 2004).

Os parâmetros morfométricos são classificados em três tipos diferentes, lineares que dizem a respeito da estrutura da rede de drenagem no interior da bacia hidrográfica, sendo: a classe linear, visto destacar somente a drenagem como elemento espacial em análise (CHEREM, 2020). Diferentes parâmetros morfométricos foram elaborados para se compreender a dinâmica do sistema fluvial das bacias hidrográficas, como a hierarquização das ordens de drenagem, o comprimento da drenagem, a sua sinuosidade etc.; classe zonal, a qual estuda os processos interiores das bacias hidrográficas a partir da relação entre estrutura e dimensão da rede de drenagem e a geometria da bacia hidrográfica (CHEREM, 2020), com destaque para os

parâmetros da forma de relevo e dos índices de densidade de drenagem; e a classe hipsométrica compreendem o conjunto de parâmetros que relacionam a estrutura da rede de drenagem e suas dimensões com as características de altitude e de inclinação do relevo das bacias hidrográficas (CHEREM, 2020), na qual se pode destacar a o gradiente do canal principal, a integral hipsométrica e a declividade média da bacia hidrográfica, por exemplos.

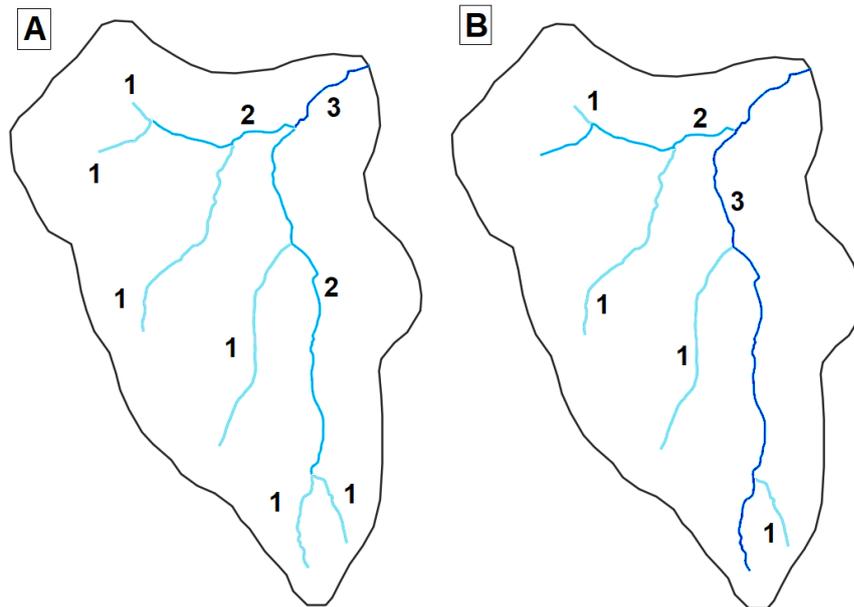
Classe Linear

A hierarquia fluvial (H_f) é compreendida pela ordenação dos canais da rede de drenagem dentro de uma bacia hidrográfica. A hierarquização proposta por Strahler (1952a) considera que os canais de primeira ordem são as que não possuem tributários, são drenagens que naturalmente estão na cabeceira das bacias hidrográficas. Já os canais de segunda ordem se formam a partir de confluência de dois canais de primeira ordem e, conforme dois canais de mesma ordem se encontram, formam a jusante um canal de ordem superior (Figura 4).

Outra proposta de hierarquização popular é de Horton (1945), na qual os canais de primeira ordem se localizam nas cabeceiras das bacias hidrográficas da mesma forma que a proposta anterior, porém o canal de maior ordem (o canal principal) se estende da cabeceira até a foz (Figura 4). Portanto, por exemplo, se o canal de ordem 2 possui mais de um tributário de ordem 1 e se estende até a cabeceira ao em vez de iniciar na confluência de dois canais de ordem 1, como na proposta de Strahler (1952a).

As drenagens de ordens primárias (1^a , 2^a ...) possuem dinâmica diferentes das ordens superiores, como no potencial de vazão, tempo de concentração, morfologia do canal, área de drenagem etc. (HORTON, 1945; STRAHLER, 1952a).

Figura 4. Proposta de hierarquização das drenagens de Strahler (1952a) em A e a proposta de Horton (1945) em B.



O índice de *sinuosidade do canal* (Is) relaciona o comprimento total do canal, considerando sua sinuosidade, com a menor distância entre a nascente e foz, ou entre um trecho da drenagem em análise (Equação 1), sendo que valores abaixo de 1,05 é interpretado como canais com forma retilínea, valores entre 1,05 a 1,5 considera o canal sinuoso e, valores maiores que 1,5, significa que o canal é meandrante (HORTON, 1945). O Is é considerada uma informação no entendimento da dinâmica fluvial, visto que canais retilíneos apontam para condicionamento estrutural e propicia alta energia dos fluxos d'água nos canais, já canais meandrantés, possuem baixíssima probabilidade de controle estrutura e baixa energia do fluxo d'água (HORTON, 1945).

$$Is = L/Dv \quad (1)$$

Onde L é o comprimento do canal principal e Dv é distância vetorial, medida entre a nascente e a foz.

Classe Zonal

Alguns parâmetros morfométricos da classe zonal compara as formas das bacias hidrográficas com formas geométricas a fim de encontrar um valor para a forma da bacia hidrográfica, como é o caso do *Coefficiente de Compacidade* (kc), que compara a forma da bacia com um círculo (Equação 2), o *Fator de Forma* (kf) que compara a bacia hidrográfica a um retângulo (Equação 3) e o *Índice de Circularidade*, que relaciona a área da bacia com a área de um círculo ideal (Ac) que tenha um perímetro igual a bacia mensurada (Equação 4; CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$kc = 0,282 * P/\sqrt{A} \quad (2)$$

Onde P é o perímetro da bacia e A é a área da bacia.

$$kf = A/L^2 \quad (3)$$

Onde A é a área da bacia e L é o comprimento do canal principal.

$$Ic = A/Ac \quad (4)$$

Onde A é a área da bacia e Ac a área de um círculo ideal com perímetro da bacia hidrográfica em análise.

A fundamentação desses índices está pautada na hidrodinâmica, a qual aponta que bacias com formatos mais alongados tendem a ser menos sujeita a cheias, visto que os afluentes ocorrem em vários pontos do território da bacia, enquanto as bacias mais arredondadas concentram mais rápido as precipitações, sendo mais sujeitas a cheias rápidas (CHRISTOFOLETTI, 1980). O valor resultante do Kc apresenta valor acima de 1, sendo que deste valor até 1,25 a bacia é mais circular, de 1,25 a 1,50 tem-se bacias de forma transitória e acima de 1,50 as bacias são pouco circulares (CHRISTOFOLETTI, 1980). O Kf informa que se os valores estão entre 1 à 0,75 a bacia é pouco retangular, se estão entre 0,75 à 50 as bacias possuem forma transitória e valores abaixo de 0,50 as bacias são mais retangulares (CHRISTOFOLETTI, 1980). Já para o Ic quanto mais o valor se aproxima de 1, mais circular é a bacia e, assim, se torna mais sujeita a cheias rápidas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A *Densidade de Rios (Dr)* é a relação entre a quantidade de rios e a área da bacia hidrográfica (Horton, 1945), indicando o número de drenagens em cada km² (Equação 5). O número maior ou menor de canais por km² está diretamente relacionado com as características geológicas, pedológicas e climáticas da região estudada (HORTON, 1945).

$$Dh = N/A \quad (5)$$

Onde N é o número de rios da bacia e A é a área da bacia.

A *Densidade de Drenagem (Dd)* é a razão do comprimento de todos os canais com a área da bacia hidrográfica (Equação 6), sendo um dos parâmetros mais utilizados para discussão da dinâmica hidrológica (VILLELA; MATTOS, 1975). É observado que substratos rochosos mais porosos (como associados de arenito) possibilitam maior infiltração da água (maior transmissibilidade) e drenagens mais esparsas. O valor Dd aponta para drenagem mais esparsas quando próxima de 0,5 e mais drenada quando próximas de 3,5 (VILLELA; MATTOS, 1975).

$$Dd = Lt/A \quad (6)$$

Onde L_t é o comprimento de todas as drenagens e A é a área da bacia hidrográfica.

Outros dois parâmetros morfométricos derivados da Dd são destacadas, o primeiro é o *Coefficiente de Manutenção* (C_m), o qual é considerado o cálculo inverso da Dd (VILLELA; MATTOS, 1975) e busca entender o quanto de área é necessário para manter cada metro de drenagem perene dentro da bacia hidrográfica em análise (Equação 7). O segundo parâmetros morfométrico é a *Extensão do Percurso Superficial* (EPS) (Equação 8), que aponta a distância média que a água deve percorrer até encontrar um curso d'água (CHRISTOFOLETTI, 1969).

$$C_m = 1/Dd \times 1000 \quad (7)$$

$$EPS = \frac{1}{2 \cdot Dd} \quad (8)$$

Ambos os parâmetros morfométricos dizem a respeito rugosidade do terreno e aponta para bacias hidrográficas que possuem os divisores topográficos mais próximos ou mais distantes dos cursos d'água principal (CHRISTOFOLETTI, 1969). Quanto mais longo for o percurso para as águas das chuvas chegar até curso d'água, maior é o tempo de concentração das águas precipitadas na bacia, aumentando a taxa de escoamento, infiltração e diminuindo a propensão a cheias rápidas nos leitos (RODRIGUES et al., 2013).

Classe Hipsométrica

O *índice de rugosidade* (Ir) relaciona a característica da inclinação geral da bacia em estudo com o comprimento das encostas por meio da amplitude altimétrica e densidade de drenagem (Equação 9). Os valores mais altos das duas variáveis, amplitude altimétrica e densidade de drenagem, apontam para vertentes longas e íngremes, característica que propicia as cheias rápidas devido à alta energia que a bacia possui (CHEREM et al. 2020). Outra importante informação sobre o Ir é que se a declividade da bacia é constante e a densidade de drenagem é alta, significa que a distância média entre os divisores e os canais paralelos são próximas, já quando a densidade de drenagem é constante e a declividade é alta, a bacia tende a possuir maior distância entre os interflúvios e os canais adjacentes (CHRISTOFOLETTI, 1981).

$$Ir = H \times Dd \quad (9)$$

Onde H é referente à amplitude do relevo e Dd a densidade de drenagem.

A *Relação de Relevo* (Rr) é um parâmetro morfométrico que relaciona a amplitude altimétrica do relevo da bacia hidrográfica em análise e o comprimento do canal principal (Equação 10), cuja informa sobre a declividade média da bacia a partir dessas duas medidas. Schumm (1956)

afirma que se o valor de R_r for alto em comparação a uma referência, maior também é o desnível entre a região de cabeceira e a foz do canal principal e, assim, maior a declividade média do relevo da bacia.

$$R_r = H \times L \quad (10)$$

Onde H é a amplitude altimétrica e L é o comprimento do curso d'água principal.

A *Declividade Média* (D_m) do relevo auxilia no entendimento do grau de energia que o relevo propicia aos fatores morfogenéticos na atuação dos processos morfodinâmicos, como os escoamentos superficiais (CHEREM et al., 2020). A *Amplitude Altimétrica* (H), da bacia hidrográfica é constatada pela diferença entre os valores mínimo e máximo da altitude do relevo, a qual aponta para bacias hidrográficas com maior ou menos energia potencial gravitacional de forma geral (STRAHLER, 1952b).

O *Gradiente do Canal Principal* (G_{cp}) é a razão entre a amplitude altimétrica do canal principal e o comprimento do canal principal (Equação 11), sendo um importante parâmetro, no qual aponta a energia do fluxo do canal (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$G_{cp} = (A_{cp} \times 1000) / C_{cp} \quad (11)$$

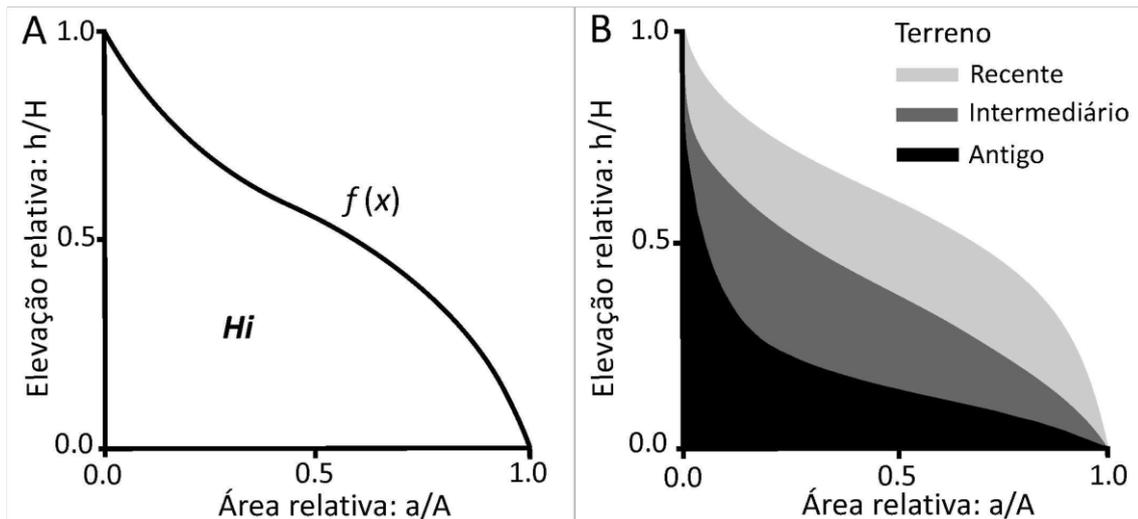
Onde A_{cp} é a amplitude altimétrica do canal principal e C_{cp} o comprimento do canal principal. O valor 1000 serve para transformar a unidade metros para quilômetros.

O *Índice de Concavidade do Canal* (θ) é a regressão linear da correlação entre a área acumulada e declividade do curso d'água normalizados, permitindo evidenciar o estágio de evolução do curso d'água e da bacia hidrográfica através do perfil longitudinal dos rios (CHEREM et al. 2020), sendo que a concavidade apresentada pelo θ é comum em um ambiente com atividades tectônicas inexistentes e evolução da paisagem geomorfológica em substrato homogêneo. Também é comum a associação entre perfis retilíneos e côncavos de cursos d'água que estão em equilíbrio os níveis de bases local, porém quando o perfil se apresenta convexo, a existência de *knickpoints* pode ser uma causa, alterando a dinâmica a montante e a jusante do ponto de inflexão (CHEREM et al. 2020).

A *Curva Hipsométrica* (CH) e a *Integral Hipsométrica* (IH) tem por objetivo descrever a distribuição de área em nas diferentes faixas altimétricas. Esse parâmetro é representado em uma curva em um gráfico cartesiano (eixo X e Y), em que as abcissas se refere às áreas acumuladas e as ordenadas a altimetria (Figura 1). Em relação aos valores e estágio evolutivo das bacias hidrográficas, valores altos da IH ($> 0,6$) e a curva convexa, refere-se a estágio de

juventude, valores intermediários (0,6 a 0,35) e curva em S estão associadas a estágio evolutivo maduro e valores menores e curva côncavos está relacionado a estágio senil ($< 0,35$) do relevo, muito dissecadas (GROHMANN; RICOMINI, 2012; STRAHLER, 1952b).

Figura 5. Representação gráfica de curvas hipsométricas. (A) Curva hipsométrica representada graficamente por uma função $f(x)$ (STRAHLER, 1952b), onde Hi é a parcela sob a curva que reproduz a integral hipsométrica (elevação total H do terreno=elevação máxima menos a mínima, A =área superficial total da bacia, e a superfície sobre determinada elevação h). (B) Modelos teóricos de curvas hipsométricas (OHMRI, 1993).



2.4 Habitats Físicos de Riachos

Os ambientes lóticos é um dos sistemas ambientais mais abordados na ecologia da paisagem (TURNER; GARDNER; O'NEILL, 2001), a partir da consistente premissa de que as atividades antrópicas tem causado impactos significativos nesses sistemas e de que todo o fluxo de material em ambientes terrestres segue em direção ao curso d'água mais próximo (KARL, 1998). A qualidade ambiental dos ambientes lóticos é prejudicada principalmente por distúrbios causados pelas pressões antrópicas, sendo comprovado por estudos que abordam a qualidade da água, os habitats físicos locais e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos (DUDGEON et al., 2006).

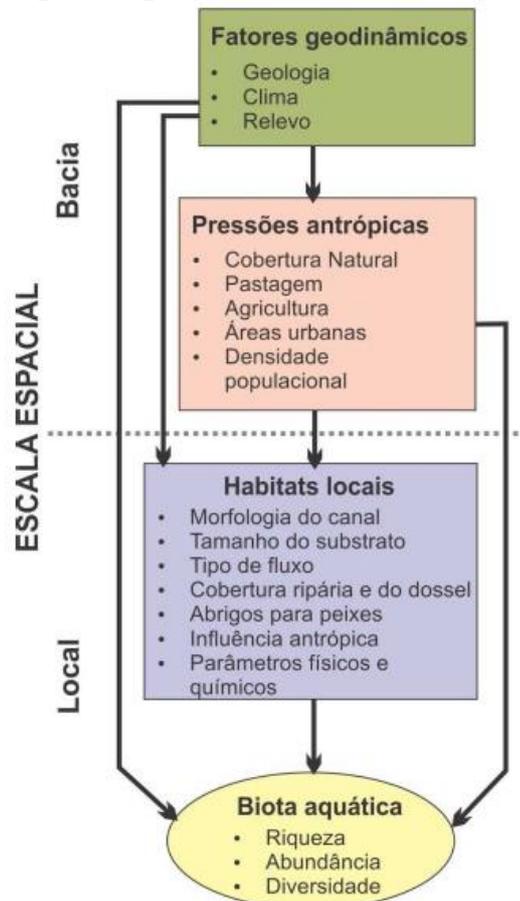
Apesar das investigações apontarem que as pressões antrópicas possuem importância significativa sobre o equilíbrio dinâmico dos ambientes lóticos, os demais componentes ambientais, como aspectos do relevo, tipos de substratos rochosos, diferentes solos, as variáveis climáticas etc., tem sido relacionado para uma compressão mais abrangente do padrão da qualidade da água e dos ecossistemas de ambientes lóticos (ALLAN, 2004; MADDOCK, 1999). Nessa perspectiva, esses componentes da paisagem são conhecidos como fatores geodinâmicos (Figura 6), que atuam de maneira significativa na heterogeneidade espacial, a partir da

estruturção das diferentes regiões e influenciam diretamente na escala local dos ambientes lóticos (ALLAN, 2004).

Os padrões dos ecossistemas ambientais lóticos são fruto da conjuntura da paisagem, porém considerando a escala local, a configuração dos habitats físicos é um subsistema que permite o estabelecimento e a dinâmica dos ecossistemas (PAULSEN et al., 2008). Os habitats físicos fluviais é a combinação de seis principais fatores controladores internos e externos ao curso d'água (Figura 6), sendo eles a morfologia do canal, o tamanho e tipos de substrato, os diferentes fluxos d'água, a cobertura ripária e o dossel arbórea, os abrigos dos peixes e insetos, a influência antrópica direta e os aspectos físicos e químicos da água (PAULSEN et al., 2008).

As informações acerca desses seis principais fatores controladores são múltiplas, como a profundidade do canal, quantidade de argila e areia, tamanho dos substratos, tipos de fluxos, piscinas etc., os quais combinados fornecem informações secundárias ligadas a processos (tensões de cisalhamento, estabilidade relativa do leito, dentre outros; MADDOCK, 1999).

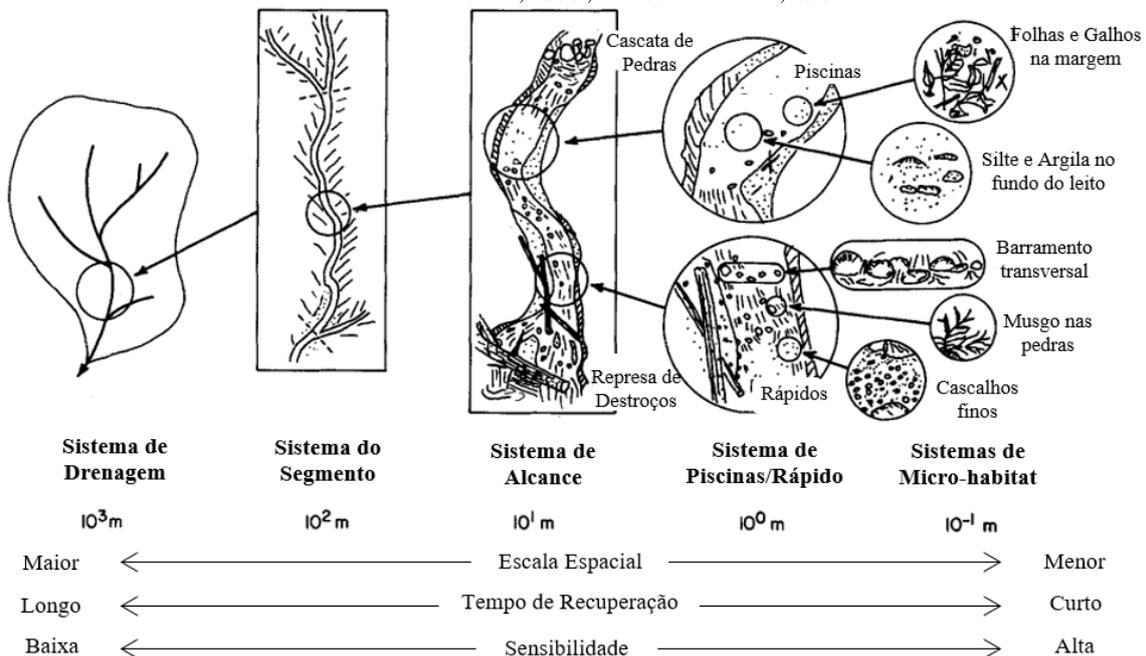
Figura 6. Representação esquemática das influências dos fatores geodinâmicos da paisagem e pressões antrópicas na escala de bacia hidrográfica sobre os habitats locais e biota aquática na escala local do curso d'água e margem. Fonte: MACEDO et al. (2019).



A qualidade e a quantidade dos habitats físicos no ambiente lótico afetam a disponibilidade de estruturas e composições adequadas as diferentes espécies (CALOW; PETTS, 1994). Além disso, a qualidade e quantidade desses habitats físicos variam longitudinalmente no curso d'água, de forma transversal de margem a margem do canal, em perfil do rio e também a partir da sazonalidade (tempos de cursos de chuvas e estiagem) e eventos excepcionais (tempestades, por exemplo; MADDOCK, 1999). As informações acerca da condição dos habitats físicos fluviais de riachos são importantes para a compreensão da integridade, susceptibilidade e a capacidade de proteção da biodiversidade, assim como de prover serviços ecossistêmicos (LEAL et al., 2016).

A avaliação dos habitats físicos pode ser realizada em diferentes escalas de abordagem (Figura 7), desde espacial, como os sistemas de drenagem, ou área de captação, até aos micro-habitat (PETTS, 1994; FRISSELL et al., 1986), os quais apontam para diferentes efeitos no tempo de recuperação e na sensibilidade a estresses e adaptações a novas dinâmicas (MADDOCK, 1999).

Figura 7. Multi-escalas para avaliação de habitats físicos e sobre a dinâmica desses ambientes. Fonte: MADDOCK, 1999; FRISSELL et al., 1986.



As escalas de maiores abrangências apontam para ecossistemas estáveis e que é definida por arranjos regionais, como pela topografia (altitude e dissecação), aspectos climáticos (regime pluviométrico e temperatura média) e diferentes tipos de uso da terra (MADDOCK, 1999). Esses arranjos definem uma série de características que condicionam o padrão morfoestrutural e morfodinâmico dos rios, como em relação ao seu gradiente, sinuosidade e largura dos cursos d'água, temperatura e química da água etc. (MADDOCK, 1999).

O sistema intermediário, como os de alcance, de piscinas e rápidos, considerados macro-habitat, são estruturas internas definidas pelos padrões geomórficos do canal (Figura 7), a partir de padrões de piscinas onde os fluxos são lentos, conjuntos de substratos como grandes rochas ou pequeno seixos, barramentos por troncos de árvores etc., ou ainda até por plantas aquáticas (BISSON; BILBY, 1982). Por outro lado, os sistemas de micro-habitat, a escala do real espaço de vida da biota local, referem-se a estrutura e a organização no leito, como a porção de substrato, folhas e pequenos gravetos organizados, algas e musgos etc.

2.5 Influência de Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas sobre Hábitats Físicos de Riachos

A escala de análise pela abordagem da geomorfologia quantitativa de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas se conciliam com a escala de captação de avaliação dos habitats físicos de riachos. O que pode mudar pontualmente nessa abordagem é o ponto de partida mais a jusante da área de captação, uma vez que pode ser no exutório da bacia hidrográfica, isto é, no encontro do rio em análise com outro de maior ordem ou com o oceano, ou em um ponto específico do curso d'água onde as características dos habitats foram selecionadas para mensuração.

No Brasil três investigações (Tabela 1) abordam algum parâmetro morfométrico de bacia hidrográfica em busca de explicar os habitats físicos de riachos, sempre na escala de captação, sendo um estudo com 91 riachos no estado do Pará, no bioma Amazônia (LEAL et al., 2016), outro no mesmo bioma, mas em 55 riachos em áreas de proteção ambiental (BENONE et al., 2017) e outro em 86 riachos de bacias hidrográficas do estado de São Paulo, bioma Mata Atlântica (MOLINA et al., 2017). Em comum, em tais investigações (Tabela 1) as variáveis de área de captação e declividade média para prever uma série de métricas de habitat físico de riacho (p.ex. morfologia do canal, substratos), sendo de forma geral variáveis pouco efetivas para explicar a variabilidade dos HFR, exceto em a investigação de Benone et al., (2017) em áreas protegidas no bioma Amazônia.

Pesquisas internacionais que relacionaram alguns parâmetros morfométricos com métricas de habitats físicos de riachos são encontradas em diferentes países (Tabela 2), principalmente, nos Estados Unidos. A abrangência temporal de tais investigações são registradas desde 1996 (RICHARDS; JOHNSON; HOST, 1996), porém após o começo do presente século é registrado a maior parte das pesquisas.

Em relação aos parâmetros morfométricos de bacia hidrográfica, a área de captação apareceu na maior parte das pesquisas e foi considerado um poderoso aspecto para explicar a morfologia do canal, como a largura molhada e demais aspectos (MOREL et al., 2020; FRAPPIER; ROBERT, 2007; FAUSTINI; KAUFMANN; HERLIHY, 2009; PEDERSEN; FRIBERG; LARSEN, 2004; RICHARDS; JOHNSON; HOST, 1996). Outras variáveis pertinentes a geomorfologia quantitativa, como ordem, comprimento e inclinação do canal principal, amplitude altimétrica, densidade de drenagem e declividade média da bacia hidrográfica foram consideradas em tais estudos (NAURA, et al., 2016; FRAPPIER; ROBERT, 2007; PEDERSEN; FRIBERG; LARSEN, 2004; JEFFERS, et al., 1998), sendo importantes para prever os habitats físicos de riachos (FRAPPIER; ROBERT, 2007; MUGODO et al., 2006; ROWE; PIERCE; WILTON, 2009; WANG et al., 2013).

Já em relação as características de habitats físicos de riachos, exceto uma pesquisa não considerou as características de morfologia do canal como variável dependente na compreensão dos habitats físicos de riachos, isto é devido ao objetivo da pesquisa (NAURA, et al., 2016), porém essa constatação mostra a importância dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas no estudo da morfologia do canal. Não obstante, os substratos dos riachos são outro conjunto de informações do leito muito estudada, seguida de estudos que abordaram os tipos de fluxos.

Apesar da diversidade de métodos estatísticos utilizados nesses estudos, a regressão linear múltipla é a mais optada, a qual permite prever valores médio, ou esperados, da variável dependente em relação a variabilidade das variáveis independentes (CANCHO, 2004). A análise de redundância também foi utilizada em dois estudos, a qual viabiliza realizar análise de regressão com extensão canônica da análise de componentes principais de forma conjunta, o que possibilita explicar melhor a variável resposta a proporção explicada pelas variáveis explicativas (LEGENDRE; LEGENDRE, 2012). E mais recentemente, regressão não-paramétrico, como o *random forest* (LEAL et al., 2016), o qual permite modelar variáveis não lineares, interações complexas e ótimo predição dos dados (RRASAD; IVERSON; LIAW, 2006), sendo os referidos motivos alegados pelas pesquisas levantadas (LEAL et al., 2016; MOREL et al., 2020). Apesar do referido regresso não-paramétrico permitir apontar as mais importantes relações entre preditores-predito, não é possível apontar a influência por coeficientes como as regressões lineares clássicas.

Tabela 1. Síntese de estudos realizados no Brasil que utilizaram parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas em estudos de habitats físicos de riachos.

Autoria	Área de Estudo	Métricas de Habitats Físicos de Riachos	Parâmetros Morfométricos	Análise Estatística	Apontamentos
Leal et al. (2016)	91 sites de riachos em duas regiões do estado de Belém, no bioma Amazônia.	Substratos, Madeira e Morfologia do Canal.	Área de Captação e Declividade Média.	Random Forest	As variáveis de área de captação e a declividade média obtiveram baixa correlação com as variáveis de habitats físicos de riachos.
Benone et al. (2017)	55 sites de riachos em seis bacias hidrográficas, em áreas protegidas, no bioma Amazônia.	Substratos, Morfologia do Canal e Fluxo.	Altitude, Área de Captação e Declividade Média.	RLM	A declividade média foi importante para os canais rápidos dos habitats e substratos. A altitude, conjuntamente da declividade média, foram os principais fatores que explicam a heterogeneidade de habitats físicos de riachos, variáveis que estavam relacionados ao fluxo d'água.
Molina et al. (2017)	86 sites dos rios São José e Turvo-Grande, no noroeste do estado de São Paulo.	Substratos, Cobertura no canal, Mesohabitats, Vegetação marginal e ribeirinha, e Morfologia do Canal.	Área de Captação, Declividade Média e Ordem do Riacho.	Análise de Redundância	Baixa correlação com as variáveis respostas, sendo atribuído como causa a homogeneidade geomorfológica da área de estudo.

Tabela 2. Síntese de estudos realizados no exterior que utilizaram parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas em estudos de habitats físicos de riachos.

Autoria	Área de Estudo	Métricas de Habitats Físicos de Riachos	Parâmetros Morfométricos	Análise Estatística	Apontamentos
Richards et al. 1996	46 sites de riachos na bacia de Saginaw do Lago Huron, no estado de Michigan, Estados Unidos.	Morfologia do Canal e Substratos.	Área de Captação, Declividade média da bacia e Desvio Padrão da Altitude.	Análise de Redundância	As variáveis geomorfométricas a nível de bacia hidrográfica, principalmente a área, explicou consideravelmente a variação na morfologia do canal.
Jeffers et al. (1998)	5000 sites de riachos na Inglaterra, País de Gales, Escócia e Irlanda do Norte	Morfologia do Canal e Substratos.	Altitude, Inclinação do Canal e Comprimento do Canal.	Análise de Componentes Principais	Os resultados indicam que características de habitats físicos de riachos tem capacidade de serem previstas por informações baseadas em mapas.
Pedersen et al. (2004)	39 sites de grandes rios na Dinamarca	Morfologia do Canal e Substrato.	Índice Topográfico (Amplitude Altimétrica) e Área de Captação.	ANOVA 2 fatores	Apesar de não existir uma relação simples entre variáveis a nível de captação e os habitats físicos de riachos, foi notória que tais variáveis conseguem discernir diferentes ambientes de habitats físicos nas áreas baixas dinamarquesas.
Mugodo et al. (2006)	53 sites de riachos do sudeste de Queensland, Austrália.	Morfologia do Canal, Substratos e Tipos de Fluxos	Ordem da bacia, Área de Captação; Declividade Média; Comprimento do riacho até a fonte;	Análise de Vizinho Mais Próximo	O uso de variáveis na escala de captação do riacho, como ordem da bacia, distância do site e elevação, foram capazes de prever cinco variáveis de habitat de riachos.

Frappier et al. (2007)	76 riachos em New Hampshire, Estados Unidos.	Morfologia do Canal, Substratos e Tipos de Fluxos.	Ordem da bacia, Comprimento total dos canais perenes e intermitentes, Comprimento do canal principal, Altitude Máxima, Declividade do canal e Área de Captação.	Distância Euclidiana	As variáveis a nível da paisagem, como ordem do riacho, a altitude e a área de captação, foram preditores consistentemente poderosos de habitat de riachos nos modelos graduais.
Faustini et al. (2009)	1152 sites de riachos nos Estados Unidos.	Morfologia do Canal.	Área de Captação.	ANOVA e RLM	A largura do canal é uma variável que está diretamente relacionado a área de captação, porém fatores geodinâmicos e perturbações antropogênicas influenciam na resposta e podem ser mais significativos em algumas regiões que a própria área de captação.
Rowe et al. (2009)	93 sites de riachos em Iowa, nos Estados Unidos.	Morfologia do Canal e Substratos	Área de Captação, Comprimento da rede de fluxo, Densidade de Drenagem, Declividade Média dos Canais; Proporção de segmentos não sinuosos	RLM	Fatores na escala da paisagem contribuem para o entendimento das características físicas do habitat em riachos. A maior sinuosidade a nível de segmento foi associada a presença de substratos mais grosseiros e habitat de corredeiras.
Wang et al., (2013)	54 riachos em Wisconsin e norte de Michigan, Estados Unidos.	Morfologia do Canal, Substratos e Tipos de Fluxos.	Área de captação, Gradiente de Canal, Sinuosidade do canal, Número da ligação, Ordem do Canal, Elevação e Comprimento total das drenagens.	Teste de Equivalência bilateral (TOST)	As variáveis de habitats físicos de riachos, como profundidade e largura do canal, substratos grandes e finos etc., podem ser explicadas por medidas de escala da paisagem.

Rawlins et al. (2014)	472 sites de riachos no norte do País de Gales e oeste da Inglaterra.	Morfologia do Canal.	Área de Captação e Declividade média da bacia.	Regressão Linear Clássica e Mista	A área de captação foi uma importante variável explicativa da largura molhada do canal, a qual sozinha atingiu 54% da variância do modelo.
Wilkerson et al. (2014)	444 sites de riachos em diferentes estados dos Estados Unidos.	Morfologia do Canal.	Área de Captação.	Regressões Lineares e Logísticos	A área de captação da bacia é um importante preditor da largura da margem dos ambientes, porém não é suficiente para prever sozinho em diferentes regiões devido a outros fatores controladores (ex. geologia e clima)
Bieger et al. (2016)	1310 sites de riachos nos Estados Unidos.	Morfologia do Canal.	Declive Médio do Canal.	RL e RLM	A declividade média do canal tem importância relativa para largura da margem, profundidade e área da seção transversal, sendo interessante em algumas regiões dos Estados Unidos.
Naura et al. (2016)	9473 sites de riachos no Reino Unido	Substratos	Altitude, Declividade do Canal e Comprimento do canal.	Regressão dos mínimos quadrados generalizados (GLS)	As informações de SIG, como altitude, declividade e comprimento do canal, estavam associados a diferentes ambientes e a diferentes tamanhos de substratos.
Morel et al. (2020)	1327 sites de rios na França e na Nova Zelândia.	Morfologia do Canal	Área de Captação; Declividade Média da Bacia; Declividade Média do Segmento; Ordem da Bacia; Densidade de Drenagem; Comprimento da drenagem;	Random Forest	A largura molhada do canal foi prevista principalmente por a área de captação da bacia e outras duas variáveis de vazão.

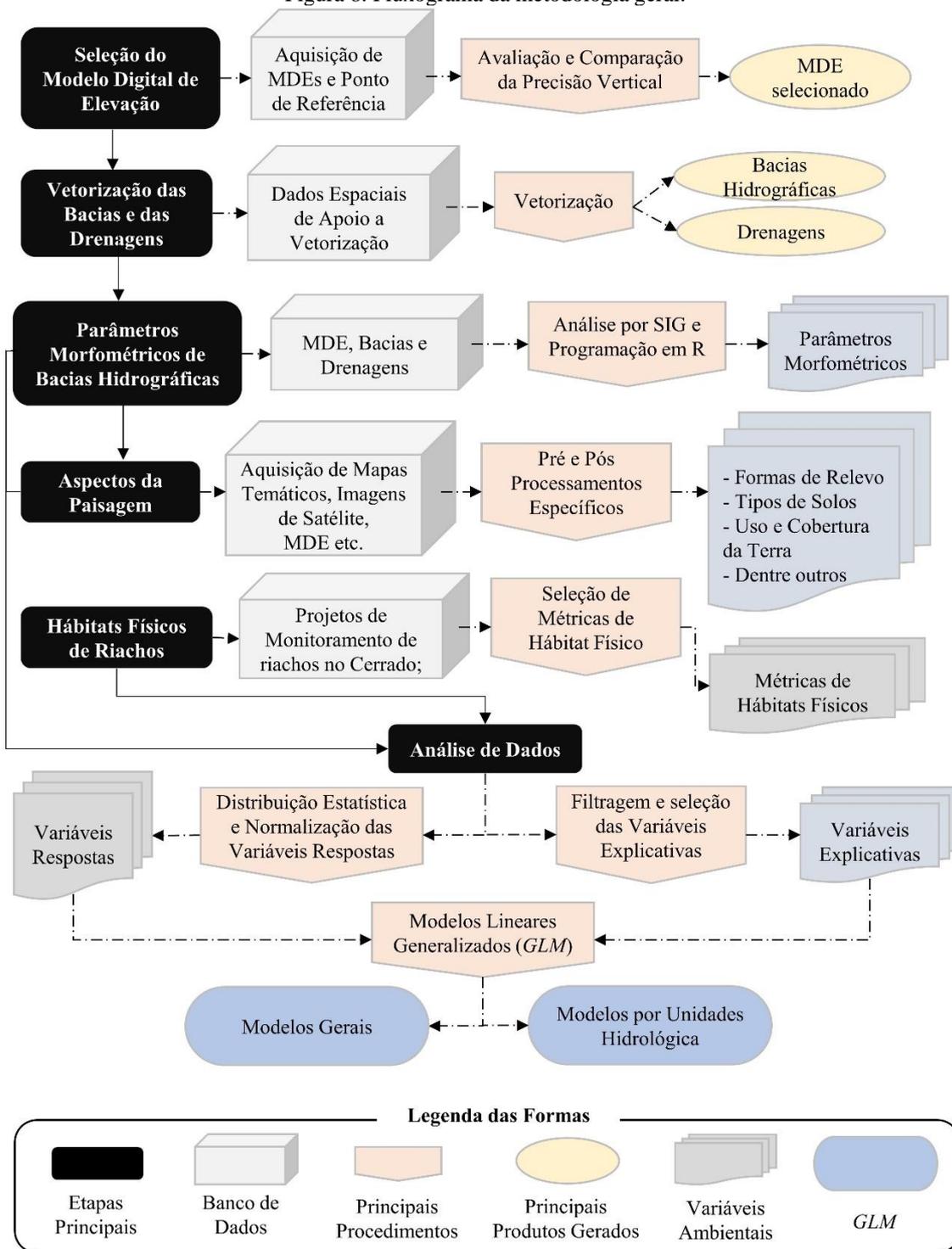
3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos da pesquisa são apresentados no fluxograma a seguir (Figura 8) e a presente pesquisa se resume em seis grandes etapas. A primeira etapa, foi a *seleção do Modelo Digital de Elevação (MDE)*, na qual foram identificados alguns produtos aptos a pesquisa e se buscou selecionar o melhor para a pesquisa, sendo essencial para o desenvolvimento das etapas posteriores.

A segunda etapa foi a *vetorização das bacias hidrográficas* e das suas respectivas *drenagens* a montante do site amostrado dos riachos, a qual buscou dados com a melhor precisão disponível para atingir e produzir informações em escalas cartográficas grandes. A terceira etapa foi a escolha, aquisição e processamentos de *aspectos da paisagem*, contemplando diferentes componentes da paisagem que influenciam os riachos.

A quarta etapa foi escolher quais variáveis de *hábitat físicos dos riachos* possuem afinidades com os parâmetros morfométricos, visto ser o foco da principal da presente pesquisa. A quinta, e última etapa, foi a *análise dos dados* e modelagem ambiental das características físicas dos habitats dos riachos selecionados em virtude dos parâmetros morfométricos e variáveis ambientais na escala de captação, passando previamente a procedimentos de análise de distribuição estatística, normalização dos dados e seleção das variáveis explicativas. O modelo linear generalizado foi utilizado e foi produzido modelos gerais e modelos para todas as unidades hidrológicas, permitindo ver uma perspectiva global e das partes.

Figura 8. Fluxograma da metodologia geral.

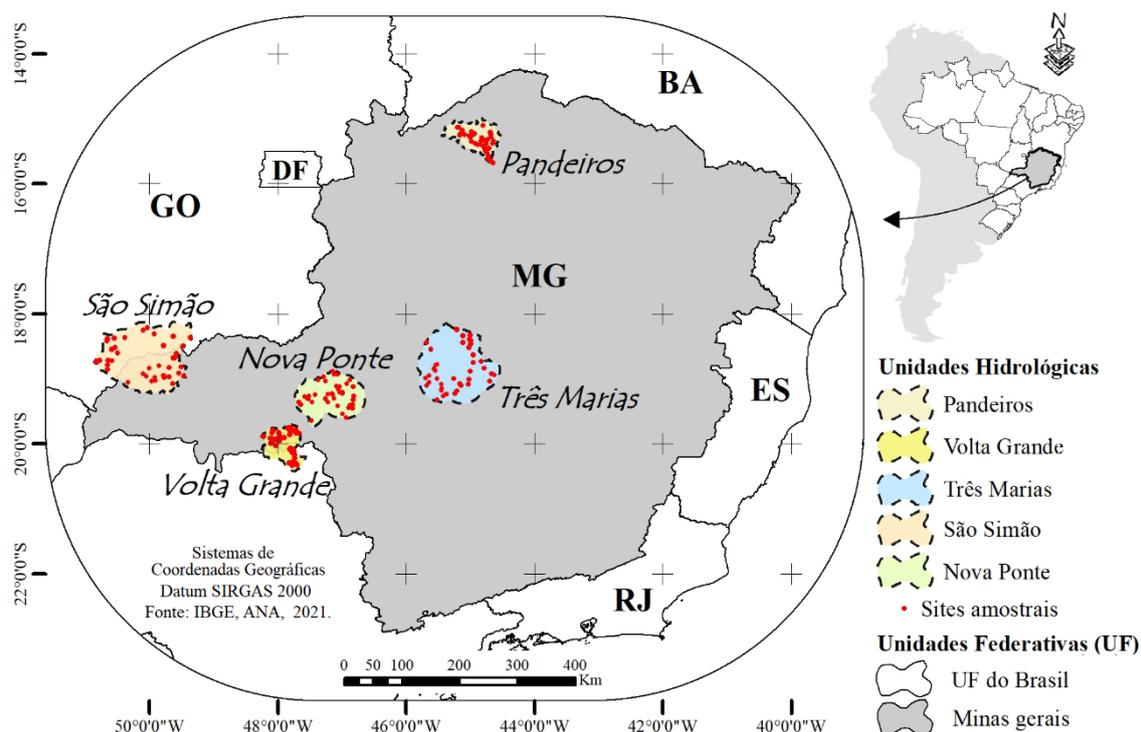


3.1 Caracterização Socioambiental das Unidades Hidrológicas

Os habitats físicos de riachos, objeto da pesquisa, foram avaliados em cinco diferentes regiões, consideradas na presente pesquisa unidades hidrológicas de reservatórios hidroelétricos (UH), à época gerenciados pela Companhia de Energia de Minas Gerais

(CEMIG), sendo que três estão localizados totalmente no estado de Minas Gerais: Três Marias (TM), Nova Ponte (NP) e a Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pandeiros (PA). Já as demais UH abrange outros estados além de Minas Gerais: São Simão (SS) e Volta Grande (VG), que possuem parte dos riachos amostrados nos estados de Goiás e São Paulo, respectivamente (Figura 9). No total, foram amostrados 199 riachos de ordens inferiores à 4ª ordem (Strahler, 1945), 40 na maior parte das UH, exceto em SS, onde foram levantados 39 sites.

Figura 9. Localização das Unidades Hidrológicas de Reservatórios Hidroelétricos e dos sites amostrais de habitats físicos de riachos.



A compreensão dos habitats físicos de riachos perpassa pelas interrelações entre os fatores geodinâmicos (clima, geologia, pedologia etc.), considerados controladores estruturantes, e pelas atividades antrópicas, os quais são apontados como principais causadores de distúrbio na ecologia de rios. Em relação aos fatores geodinâmicos, as precipitações médias anuais e temperatura média anual constatadas nas unidades hidrológica são: em SS aproximados 1.350 mm e 25 C°; em VG cerca de 1.800 mm e 22 C°; em NP aproximados 1.500 mm e 21 C°; em TM cerca de 1.300 mm e 23 C°; e em PA próximo de 1050 mm e 28 C° (REBOITA et al., 2015). As informações climáticas conferem regiões mais quentes em SS e PA, e mais chuvosas em VG e NP, as quais possuem menor temperatura média anual.

A UH-SS está localizada na bacia hidrográfica do rio Paraná, possuindo como afluente principal o rio Parnaíba que corta o vale sobre formação Serra Geral nas altitudes 320 e 490 metros (Figura 10), com presença de rochas ígneas, dacitos, e predominância de latossolos (IBGE, 2019). Nos patamares mais altos da UH-SS a presença da formação Marília (Figura 9), com predominância de rochas sedimentares, arenitos e argilitos arenosos em planaltos residuais entre 900 e 1000 metros de altitude com ocorrência de latossolos (IBGE, 2019; FÚLFARO; BARCELOS, 1991), e a formação Vale do Rio do Peixe (Figura 10), constituída no Cretáceo, predomina entre as altitudes 700 e 900 metros, com ocorrência de arenito e argilitos arenosos e de desenvolvimento de latossolos (IBGE, 2019).

A UH-NP é a mais complexa quando se compara a diversidade geológica, a formação Serra Geral, localizadas em uma das áreas mais altas da UH-NP, onde nasce o rio Araguari, constitui-se de uma unidade encaixada entre a formação Marília, aproximadamente na cota 950 metros de altitude com presença majoritária de rocha ígnea, dacitos (IBGE, 2019). O grupo Araxá é a área mais baixa da região, com aproximados 790 metros de altitude nos vales e 940 metros de altitude nas vertentes suave-onduladas e onduladas, com presença de rochas metamórficas, como clorita xisto e muscovita-biotita xisto, e com predominância de cambissolos (IBGE, 2019). A formação Rio Verde, também com rochas metamórficas, como filitos e xistos, estão localizados em um patamar superior ao grupo Araxá, entre as altitudes 920 a 956, com predominância de latossolos (IBGE, 2019). Ressalta-se, por fim, o grupo Canastra Indiviso, composta por rochas metamórficas, xisto, filito, grafito xisto etc., com predominância de neossolos e entre as altitudes 960 a 1220 metros (IBGE, 2019).

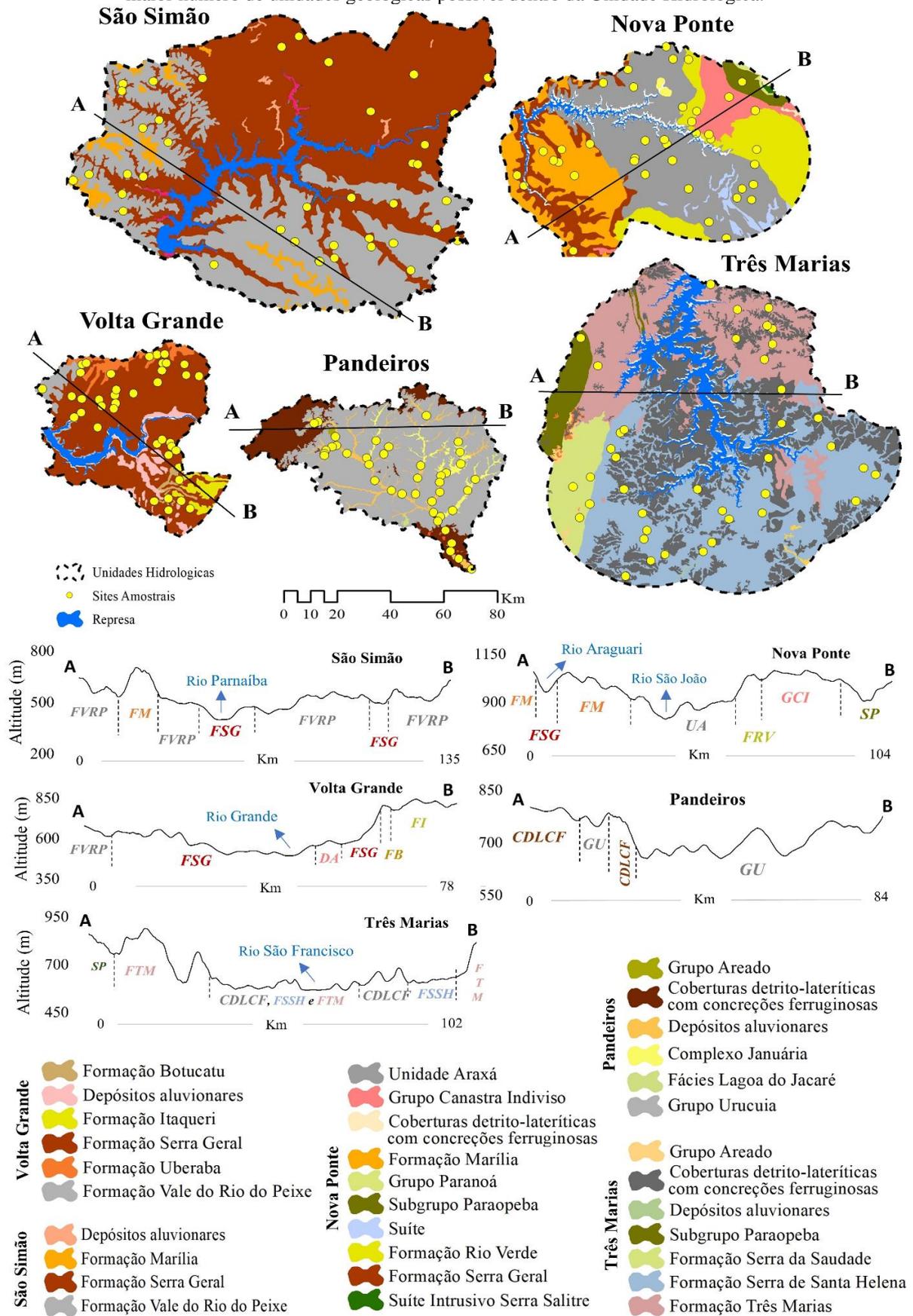
A UH-VG, apesar de ter a menor extensão entre as UHs, possui cinco diferentes unidades geológicas, em destaque a formação Serra Geral (Figura 10) sendo a mais abrangente e baixa na região (entre as altitudes 490 a 843 metros), caracterizada pelo litotipo dacito, rocha ígnea, com predominância de latossolos e é onde o rio Grande passa pela região (IBGE, 2019). À nordeste a formação Vale do Rio do Peixe (Figura 10), entre as altitudes 750 e 820 metros, apresenta predominância de arenito e argilitos arenosos e de desenvolvimento de latossolos (IBGE, 2019). Já a sudoeste outra unidade chama atenção por seu patamar mais alto, aproximadamente 850 metros de altitude, a formação Itaqueri, a qual é composta por rochas sedimentares, arenitos e arenitos conglomerático, com desenvolvimento de latossolos (IBGE, 2019).

A UH-TM conta a formação da Serra da Santa Helena e as coberturas detrito-lateríticas com concreções ferruginosas no seu patamar mais baixo, onde o rio São Francisco corta a região, aproximadamente à 600 metros de altitude. A referida formação é expressiva na UH-TM e contém rochas sedimentares como folhelho, siltito e marga, associados a cambissolos (IBGE, 2019), enquanto a cobertura apresenta litotipos de aglomerados, areia, argila e laterita, com predominância de latossolos (IBGE, 2019). No patamar mais alto (600 a 800 metros de altitude), tanto à oeste, quanto leste, a formação Três Marias é composta por rochas sedimentar, como arcóseo, argilito e siltito, localizada também nos patamares superiores da UH de Três Marias, entre as altitudes 740 a 890 metros e com predominância de cambissolos (IBGE, 2019).

A UH-PA é predominantemente de baixa energia, o destaque na figura 9 apresenta um relevo de altitudes muitos desiguais devido ao recorte do perfil transversal no alto rio Pandeiros. A UH-PA está condicionada ao catrón São Francisco, o qual é representado pelo complexo Januária (Figura 9), com presença de granitos e gnaisses que, conjuntamente aos depósitos aluvionares, com cascalhos, argilas e siltes, formam os fundos de vales (CHIMPLIGANOND, 2013), à 600 metros de altitude em média e com predominância de gleissolos e neossolos (IBGE, 2019). Sobre o complexo Januária, e de forma dominante na bacia do rio Pandeiros, encontra-se arenitos quartzos com granulometria fina à média do Grupo Urucuia (Figura 10), formação no Cretáceo (CHIMPLIGANOND, 2013), localizada nas vertentes onduladas entre 560 e 802 metros de altitude, com predominância de latossolos (IBGE, 2019). Na região mais alta da bacia do rio Pandeiros (Figura 10), entre 760 à 860 metros de altitude e com relevo majoritariamente plano a suave ondulado, se encontra litologia de detrito-lateríticas com concreções ferruginosas do Grupo Urucuia (CHIMPLIGANOND, 2013), característica que sustenta o relevo de chapada e que possibilitou o desenvolvimento e domínio dos latossolos (IBGE, 2019).

Figura 10. Representação da Geologia das Unidades Hidrológicas, a partir de mapa geológico e perfil transversal topográfico. Os perfis transversais topográficos possuem siglas que se referem a legenda da

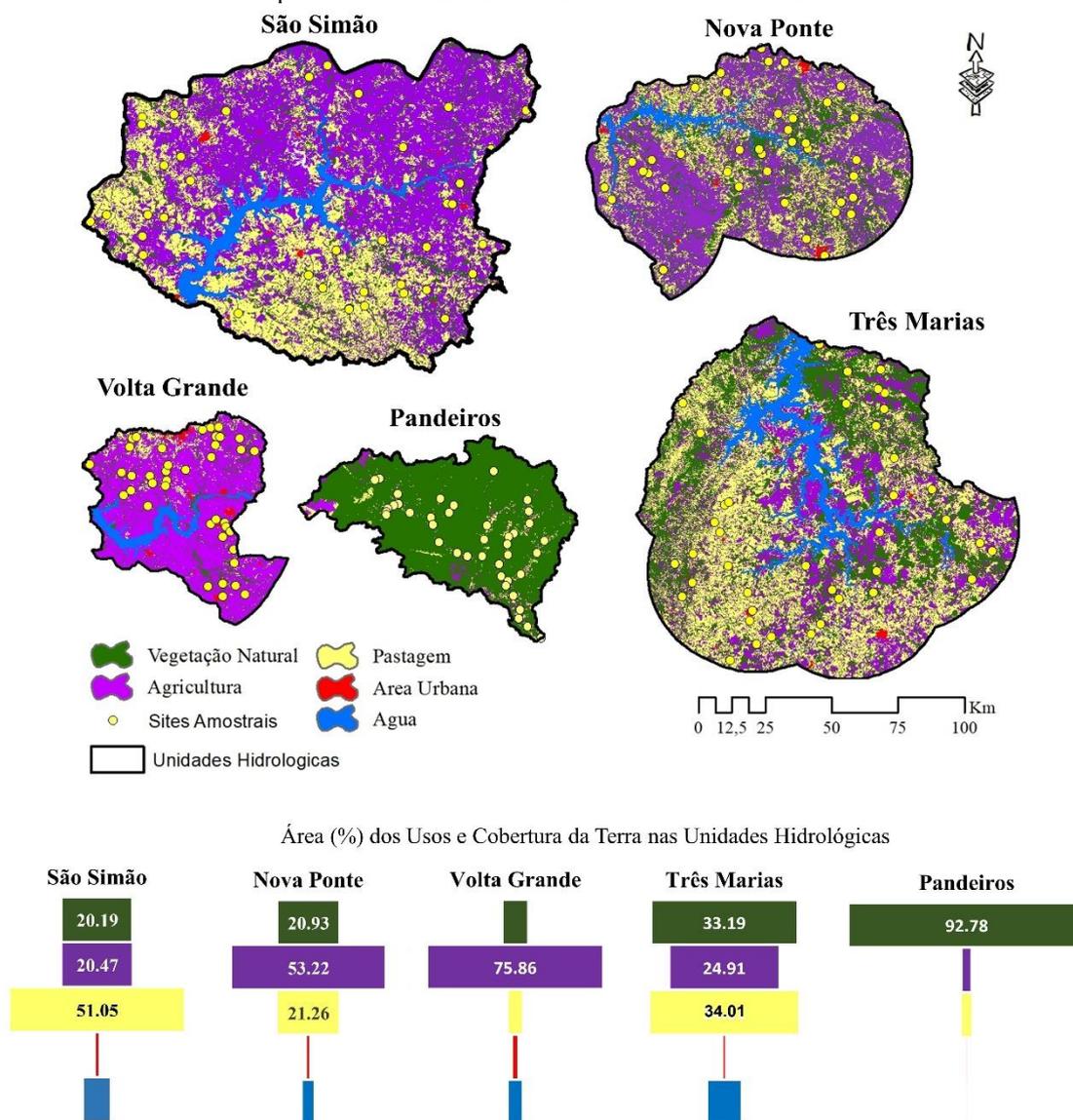
unidade geológica predominante e, salienta-se que, o perfil de A para B foi um recorte para demonstrar o maior número de unidades geológicas possível dentro da Unidade Hidrológica.



As unidades hidrológicas de VG e SS são as regiões em estudo que possuem maior propensão aos distúrbios antropogênicos em habitats físicos, devido as atividades agrícolas que ocupam uma área de 75.86% e de 53.22%, respectivamente (Figura 11; MAPBIOMAS, 2022). Por outro lado, as áreas de pastagem das UH de TM e SS ocupam uma área considerável, chegando a passar de 67% e 70% quando somado com a área ocupada pela agricultura, respectivamente (Figura 11). Não obstante, a bacia hidrográfica do rio Pandeiros, por ser uma Área de Proteção Ambiental (APA) com objetivos conservacionistas, possui mais de 90% da área de vegetações nativas, entre florestais, savanas e campestres (Figura 11).

A UH de VG, seguida de TM e NP possuem mais estabelecimentos rurais, ao se somar os dados por município do censo agropecuário de 2017 (IBGE, 2017), com 9.051, 7.824 e 7.743, respectivamente. O UH-VG, apesar de possuir mais 75% de área agrícola e pastagem, contém aproximados 3.875 estabelecimentos rurais. Desses estabelecimentos rurais, em média, 78.49% são voltados para pecuária em TM e 48.62% em VG nos municípios abrangidos. Em relação aos estabelecimentos rurais por atividade agrícola, em média 31.32% de lavoura temporária em TM e chega a 31.22% em VG. Por outro lado, em relação a lavouras perenes, os municípios de VG possuem em média 12.53%, em NP 11.11%, enquanto que para SS 0.98%, e Três Marias, 1% (IBGE, 2017).

Figura 11. Representação do Uso e Cobertura da Terra de 2010 das Unidades Hidrológicas e os respectivos sites amostrais de habitats físicos de riachos.



3.2 Seleção do Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é um produto cartográfico digital fundamental para o desenvolvimento da presente pesquisa, visto que viabiliza a extração das informações de apoio para o mapeamento das bacias hidrográficas e das drenagens dos sites amostrais de habitats físicos de riachos, a partir de curvas de nível e sombreamento do relevo. Além disso, possibilita a extração de informações que auxiliam na mensuração dos parâmetros morfométricos, como amplitude altimétrica, gradiente do canal principal, declividade média da bacia hidrográfica, dentre outras.

Devido a variedade de produtos MDE disponíveis para uso, alguns critérios foram utilizados para seleção do MDE, sendo: primeiro, a gratuidade do MDE, visto a impossibilidade de adquirir produtos com alto custo; segundo, foi que o MDE deveria cobrir toda a área de estudo onde estão as bacias hidrográficas dos riachos em análise; terceiro, o MDE deve possuir a resolução mais fina o possível, uma vez que se objetiva analisar e vetorizar informações espaciais restritas a pequenos riachos de ordens primárias. Nesse sentido, identificou-se quatro MDE com resolução espacial de 30 metros (Tabela 3).

Tabela 3. Informações sobre os Modelos Digitais de Elevação.

Satélite/Missão	Versão e Ano	Processamento	Acesso em Mar. de 2020
SRTM	NASADEM, 2020.	Interferometria	https://earthdata.nasa.gov/eosdis/daacs/asf
	TOPODATA, 2011.		http://www.dsr.inpe.br/topodata/
ASTER	ASTER GDEM 3ª v., 2019.	Estereoscopia	https://earthdata.nasa.gov/eosdis/daacs/asf
ALOS	ALOS AW3D30, 2006-2011.		https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm

Destaca-se a *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), uma missão aeroespacial da *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que imageou a superfície terrestre no ano de 2000 entre as latitudes 60° Sul e 60° N (PURINTON; BOOKHAGEN, 2017). O SRTM derivou-se diferentes MDE, como a mais recente versão NASADEM, que teve o intuito de reduzir pixels vazios derivados de erros espúrios e melhorar a precisão vertical (CRIPPEN et al. 2016). Outra versão do SRTM utilizada na pesquisa foi a versão brasileira reprocessada pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE), projeto TOPODATA, o qual objetivou melhorar a precisão e preenchimento de falhas para o território brasileiro com informações coletadas internamente (VALERIANO; ROSSETTI, 2012).

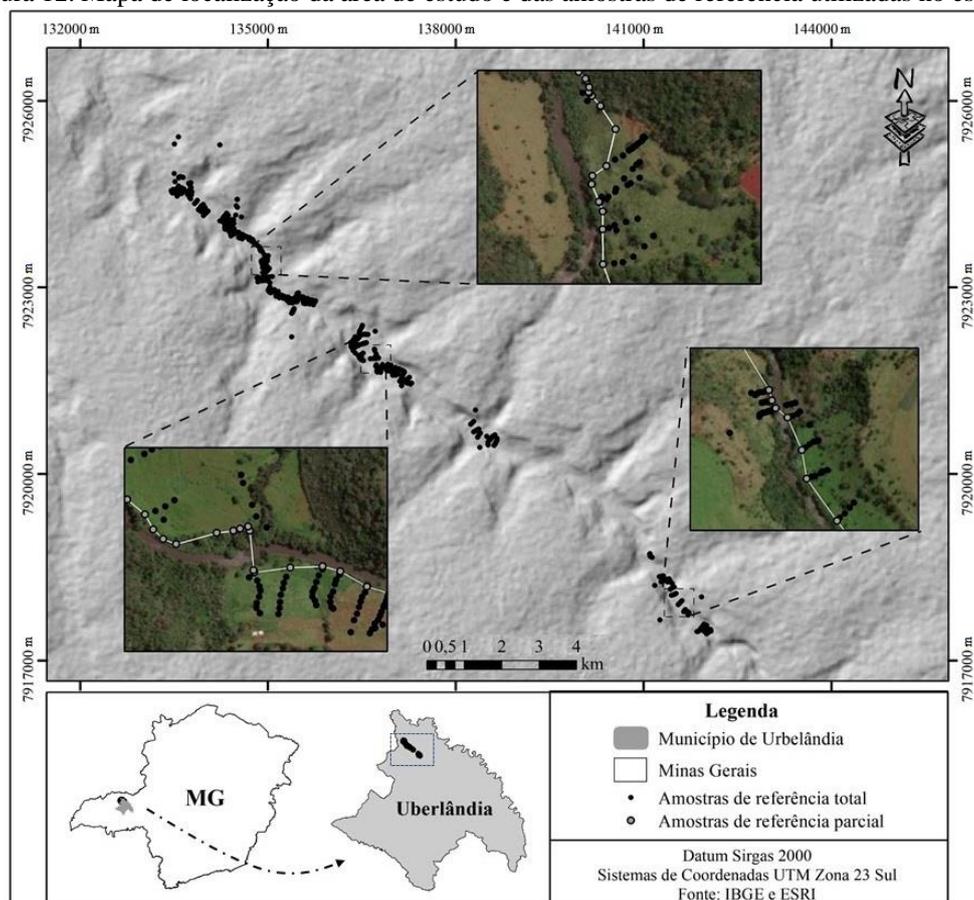
O terceiro MDE selecionado advém de imagens ópticas do satélite *Advanced Spaceborne Thermal Emission* (ASTER), o *Global Digital Elevation Model* (GDEM), da *The Ministry of Economy, Trade and Industry* (METI), do Japão, com parceria da NASA. O referido produto, ASTER GDEM, foi gerado por estereoscopia a partir de imagens ópticas da superfície terrestre, entre as latitudes 83° Sul e 83° N, imageada pelo sensor VNIR (ABRAMS et al., 2020). O último MDE selecionado foi *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) World 3D (AW3D30), da *Japan Aerospace Exploration Agency*

(JAXA), a qual também foi gerado por estereoscopia, utilizando imagens pancromáticas do sensor PRISM (TAKAKU; TADONO; TSUTSUI, 2014).

Métodos para a Seleção do Modelo Digital de Elevação

Devido ao número de possíveis produtos MDE (4) a ser utilizado na presente pesquisa, utilizou-se uma análise de precisão vertical dos produtos para averiguar qual o mais preciso para ser utilizado na a presente pesquisa, sendo um dos parâmetros de qualidade cartográfica dos MDEs mais utilizados na literatura. Portanto, foi necessário adquirido um produto independente e de referência que tivesse pelo menos três vezes mais precisão dos MDE avaliados (BAADE e SCHMULLIUS, 2016). Não obstante, foram adquiridos 1002 pontos de GNSS coletados em campo em 2017 próximos ao rio Uberabinha no município de Uberaba (Figura 12), região próxima a UH-NP e de bioma Cerrado, os quais já foram adquiridos com correção pelo Posicionamento por Ponto Simples (PPP) utilizando a órbita de 11 dias e pelo modelo MAPGEO2015 (IBGE, 2015), garantindo precisões melhores que 50 cm, conforme trabalhos publicados por Blitzkow et al. (2015), IBGE (2015) e Matos et al. (2016)

Figura 12. Mapa de localização da área de estudo e das amostras de referência utilizadas no estudo.



Pré-Processamento e Métodos Avaliativos da Precisão Vertical

A partir desse recorte de análise (Figura 12), foram baixadas as cenas de cada um dos MDE. Depois houve a transformação do *datum* do produto para SIRGAS 2000 e para o sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 22 Sul, visto a necessidade de mensurar unidade métrica. A extração dos valores de altitude a partir de pontos homólogos foi realizada nos quatro MDE em análise com os 1002 pontos de referência, no *software ArcGis 10.8*. As análises foram realizadas a partir de dois conjuntos de pontos, uma a partir de todos pontos GNSS e outra com somente 149 pontos, seguindo o curso do rio, direção foz a nascente, a partir de uma perspectiva linear e de aumento gradual de altitude (Figura 12).

Diferentes métodos para avaliar e comparar os MDE foram utilizados, sendo o primeiro o *Root Mean Square Error* (RMSE; Equação 12), a qual busca evidenciar a discrepância média entre dois valores, de referência e o avaliado, e exprime o valor na mesma medida que os dados averiguados, sendo usado de forma ampla para análises de variáveis contínuas como elevação de MDE (GROHMANN, 2018; WILLMOTT; MATSUURA, 2005). O conjunto total de 1002 pontos homólogos somente foram utilizados na avaliação pelo método RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(Z_{Ref} - Z_{MDE})^2]} \quad (12)$$

Onde: Z_{Ref} é o eixo Z dos pontos GNSS e Z_{MDE} é o eixo Z de cada MDE testado na pesquisa.

Já o segundo grupo de pontos homólogos, caracterizada pelo perfil longitudinal do rio Uberabinha, coeficiente de determinação, r^2 , o qual possibilita entender o quanto de uma variável (x) pode explicar a outro (y), com linha de tendencia polinomial, afim de averiguar a correspondência dos pontos homólogos dos MDE com os pontos de referência do GNSS. O último método utilizado para avaliar esse segundo grupo foi a *área sob a curva*, a partir da formula do trapézio, a fim de mostrar a proximidade da área entre os MDE e os GNSS no gráfico de dois eixos (x,y). Ressalta-se que para o referido cálculo, foi necessário a normalização dos valores altimétricos dos pontos homólogos entre 0 e 1. Maiores detalhes em Lacerda et al., 2021.

3.3 Vetorização das Bacias Hidrográficas e das Drenagens

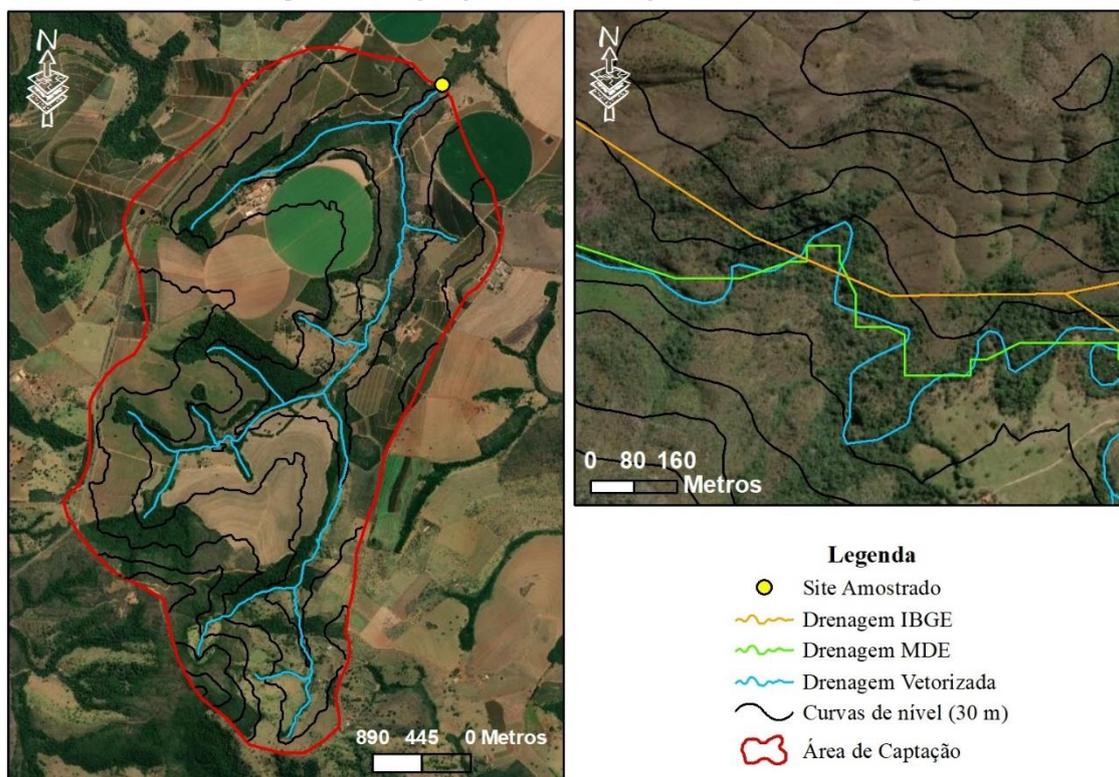
Inicialmente refletiu-se sobre a fonte de informação de drenagens a ser utilizada no estudo e o princípio de que as informações espaciais devem ser mais próximas a realidade foi o

principal critério estabelecido para a referida escolha. A primeira possibilidade foi a produção automática de drenagens por programas de SIG a partir de MDE, a segunda foi a aquisição de drenagens disponíveis em banco de dados de órgãos governamentais e a última foi a vetorização das drenagens a partir de imagens de satélite.

Dentre as três opções, o mapeamento das drenagens a partir de imagens de satélite foi a escolha adotada, visto que é a opção que mais se aproximava da realidade (Figura 13). A exemplo, testou-se a drenagem produzida pelo MDE NASADEM e a drenagem adquirida do IBGE e, ambas se mostraram distante do segmento real do curso d'água (Figura 13 B), situação que pode implicar em erros aleatórios dos resultados dos parâmetros morfométricos, como o índice de sinuosidade, dentre outros.

A vetorização das drenagens foi realizada no *QGIS 3.16.3*, o qual possibilitou utilizar imagens de alta resolução espacial das empresas *Bing* e *Google* de forma georreferenciada disponíveis no *plugin QuickMapServices* (NEXTGIS, 2015). Outra fonte de informação utilizada para a vetorização das drenagens foi o Modelo Digital de Elevação NASADEM, cuja qual permitiu derivar curvas de níveis com equidistância de 30 metros, assim foi possível visualizar os interflúvios primários e secundários, além das formas de relevo côncavas onde as drenagens se iniciavam (Figura 13: A). As bacias hidrográficas e as sub-bacias também foram vetorizadas a partir das curvas de nível gerada do MDE (Figura 13: A).

Figura 13. Vetorização das bacias hidrográficas e das respectivas drenagens. A) Representação da vetorização realizado das drenagens e das bacias hidrográficas; B) Apresentação de drenagens vetorizadas, adquirida de órgão governamental e gerada automaticamente por MDE.



3.4 Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas

Os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas são oriundos de correlação entre elementos primários da bacia hidrográfica, os quais possibilitam entender a relação das características lineares da bacia hidrográfica (Quadro 1), no caso a rede de drenagem. As características zonais (Quadro 2), como a forma e tamanho da bacia combinado com as estruturas lineares. E os aspectos hipsométricas (Quadro 3), como em relação as altitudes, declividade do terreno e a estrutura linear. Nesse sentido, foram selecionados 22 parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas.

Quadro 1. Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas da classe linear. Fonte: Horton (1945), Strahler (1952a), Christofolletti (1980), Schumm (1956).

Parâmetros	Equação
Ordem da Bacia (<i>Ord</i>)	Maior ordem encontrada na bacia hidrográfica
Comprimento do Canal Principal (<i>L</i>)	Comprimento em <i>km</i> do canal principal da bacia hidrográfica
Comprimento total dos canais (<i>L_t</i>)	Comprimento em <i>km</i> das drenagens da bacia hidrográfica
Comprimento Axial do Canal Principal (<i>L_a</i>)	Comprimento em <i>km</i> do canal principal medida em linha reta da nascente à foz do rio
Comprimento Axial da Bacia Hidrográfica (<i>L_{ab}</i>)	Comprimento em <i>km</i> da bacia hidrográfica medida em linha reta da foz do rio principal a distância máxima do limite da bacia

Índice de Sinuosidade (I_s)	$I_s = L / La$, onde L é o comprimento canal principal e La o comprimento axial do canal principal
---------------------------------	---

Quadro 2. Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas da classe zonal. Fonte: Horton (1945), Strahler (1952a), Christofolletti (1980), Cox (1994), Schumm (1956).

Parâmetros	Equação
Área (A)	Área da bacia hidrográfica em km ²
Perímetro (P)	Perímetro da bacia hidrográfica em km
Coefficiente de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,282 * P / \sqrt{A}$, onde P é perímetro (km) e A é a área da bacia (km ²)
Fator de Forma (Kf)	$Kf = A / Lab$, onde A é a área da bacia (km ²) e Lab é o comprimento axial
Índice de Circularidade (Ic)	$Ic = A / A_c$, onde A é a área da bacia (km ²) e A_c é a área de um círculo com perímetro idêntico da bacia em análise
Densidade de Rios (Dr)	$Dr = N / A$, onde N é o número canais A é a área da bacia (km ²)
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lt / A$, onde Lt é o comprimento total (km) das drenagens e A é a área da bacia (km ²)
Coefficiente de Manutenção (Cm)	$Cm (m^2) = (1/Dd) * 1000$, onde Dd é a densidade de drenagem
Extensão do Percurso Superficial (EPS)	$EPS = 1 / 2 * Dd$, onde Dd é a densidade de drenagem

Quadro 3. Parâmetros Morfométricos de Bacias Hidrográficas da classe hipsométrico. Fonte: Horton (1945), Strahler (1952b), Cox (1994), Schumm (1956), Perez-Peña et al. (2017).

Parâmetros	Equação
Índice de Rugosidade (Ir)	$Ir = H * Dd$, onde H é amplitude altimétrica e Dd a densidade de drenagem
Amplitude Altimétrica (H)	Diferença entre altitude máxima e mínima da bacia hidrográfica, em metros
Declividade Média (Dm)	Declividade média do terreno da bacia hidrográfica, em graus
Gradiente do canal principal (Gcp)	$Gcp = (Hcp * 1000) / L$, onde Hcp é amplitude altimétrica do canal principal e L o comprimento do canal principal
Razão de Relevo (Rr)	$Rr = (H * 1000) / Lab$, onde H é amplitude altimétrica da bacia e Lab o comprimento axial da bacia hidrográfica
Índice de Concavidade ($Icon$)	O $Icon$ é obtido a partir da regressão linear entre a declividade e a área acumulada
Integral Hipsométrica (IH)	$IH = (h. méd - H h. mín) / (h. máx - h. mín.)$, onde calcula-se pelas altitudes média (h.méd), máxima (h.máx) e mínima (h.mín) a distribuição de área de terreno por elevação.

Parâmetros Morfométricos mensurados via programação em R

Os valores dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas foram viabilizados pela vetorização em SIG das drenagens e suas respectivas bacias hidrográficas. Com isso, foi possível realizar os processamentos e tabulação dos resultados para as análises posteriores. Devido ao grande número de informações, foi criada uma rotina de processamento automatizado em linguagem R para facilitar e assegurar a integridade dos resultados para todas os sites de riachos amostrados, diminuindo a chance de erros aleatórios para o processamento e para a tabulação dos resultados para cada site amostral analisado.

Foram elaborados cinco *scripts* semelhantes no *software R*, referente às cinco unidades hidrológicas de reservatórios hidroelétricos, nos quais foram criadas funções específicas para calcular os parâmetros morfométricos (Figura 14). Além disso, no final do *script* foi criado um *data.frame*, sendo que as colunas eram referentes a cada parâmetro morfométrico e as linhas se referiam a cada site amostral. Desse modo, cada *script* gerou uma planilha eletrônica no final com 40 sites amostrais, exceto para a unidade hidrológica de São Simão, a qual possui 39 sites amostrais.

Figura 14. Exemplo de três funções criadas para calcular os parâmetros morfométrico em linguagem R.

```
# Comprimento total das drenagens em km (Lt) -----
LT = function(drenagem) {
  comp.rios = sum(rgeos::glength(drenagem, byid = TRUE) / 1000)
  return(comp.rios)
}

# Índice de Circularidade (Ic) -----
IC = function(bacia.vetor) {
  area.km2 = (raster::area(bacia.vetor) / 1000000)
  p.km = (rgeos::glength(bacia.vetor) / 1000)
  Ic_calculado = (12.57 * area.km2) / (p.km^2)
  return(Ic_calculado)
}

# Declividade Média -----
DM = function(dem) {
  Declividade = raster::terrain(x = dem, opt = "slope", unit = "degrees")
  return(mean(Declividade@data@values, na.rm = TRUE))
}
```

O primeiro passo para criação do *script* foi analisar a forma que os dados SIG entrariam (*inputs*) no *software R*, visto que se buscava uma forma padronizada para extração dos dados dos arquivos espaciais de forma correta e que viabilizasse sua reprodução. Os *packages raster* (HIJMANS et al., 2015a), *rgeos* (BIVAND et al., 2017), *dplyr* (MAILUND, 2019), e *rgdal* (BIVAND et al., 2015) foram importantes para o

desenvolvimento do *script*, principalmente para inserção dos *inputs*, os quais são arquivos espacial de SIG (vetorial e matricial).

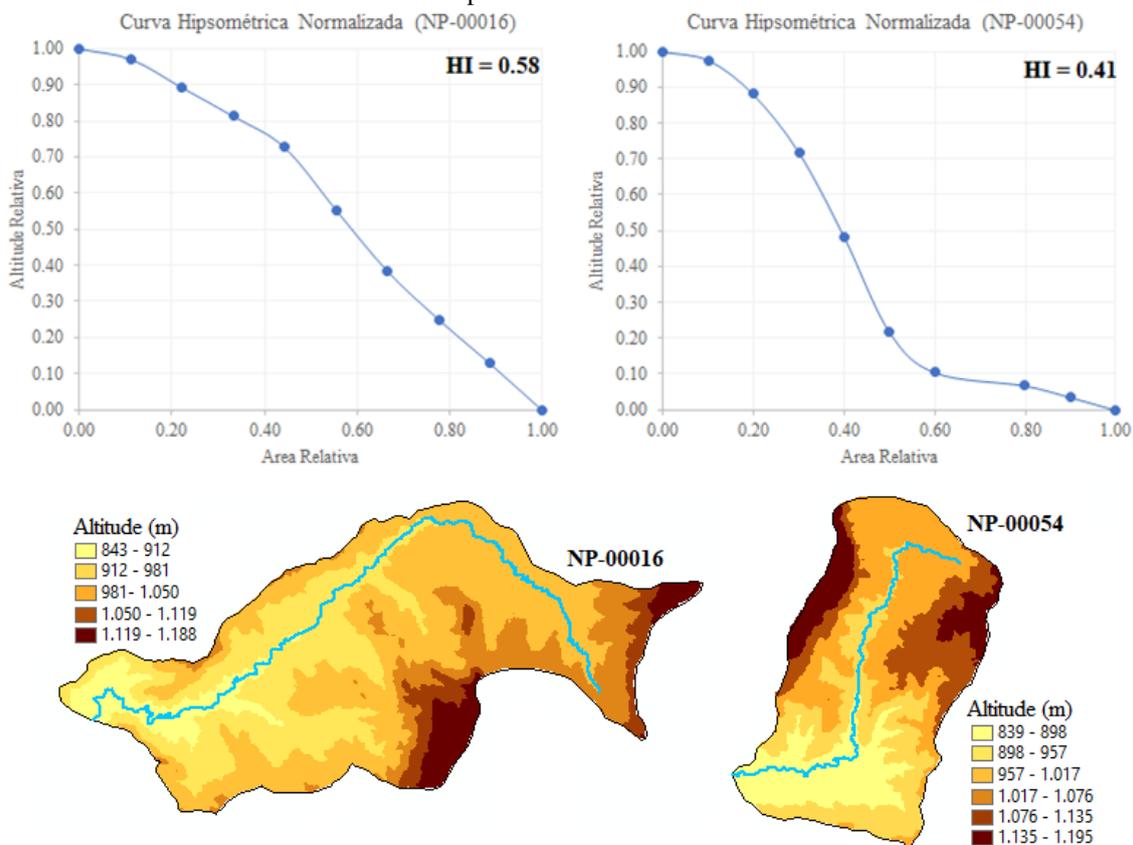
Parâmetros Morfométricos mensurados em SIG

A mensuração de outros parâmetros morfométricos, que são apresentados a seguir, foram mensurados a partir análise SIG, através de ferramentas básicas e por *plugins* específicos, para posteriormente seus valores serem inseridos nos *scripts*. Por exemplo, a mensuração do Comprimento Axial do Canal Principal (La) e da Maior Distância da Bacia Hidrográfica (Lab) se deu na interface do programa através da ferramenta *measure* do *ArcGis 10.8*.

Outros dois parâmetros morfométricos foram processados em *software* SIG a partir de *plugins* específicos, destaca-se o cálculo da Integral Hipsométrica, que foi realizado no *ArcGis 10.8* a partir do *plugin Hypsometric Integral Toolbx* criado por Matos e Dilts (2019). A ferramenta necessita de três parâmetros principais, o diretório de saída do arquivo gerado (um arquivo *shp*. com o resultado da HI), a bacia hidrográfica do riacho em análise em formato vetorial e o MDE da bacia em formato matricial.

Duas medidas de controle dos resultados gerados pelo referido *plugin* foram adotados para averiguar se os resultados estavam coerentes, sendo o primeiro uma análise comparativa visual entre sites amostrais, visto que as bacias hidrográficas que possuem alto valor de HI apresentam maior porcentagem de área em altitudes mais elevadas, o inverso é verdadeiro (Figura 15). A segunda medida foi calcular a HI em planilha eletrônica para algumas bacias hidrográficas e compará-las. Após análise, certificou-se que havia coerência entre os resultados do processo realizado em SIG e as medidas de controle e, assim, o referido procedimento em SIG foi utilizado para todos os sites amostrais e os resultados foram inseridos nos *scripts* respectivos.

Figura 15. Curva Hipsométrica Normalizada para o ACP de dois sites amostrais, afim de averiguar a coerência entre os resultados gerados pelo *plugin NProfiler* para o cálculo da HI e o resultado gerado em planilha eletrônica.

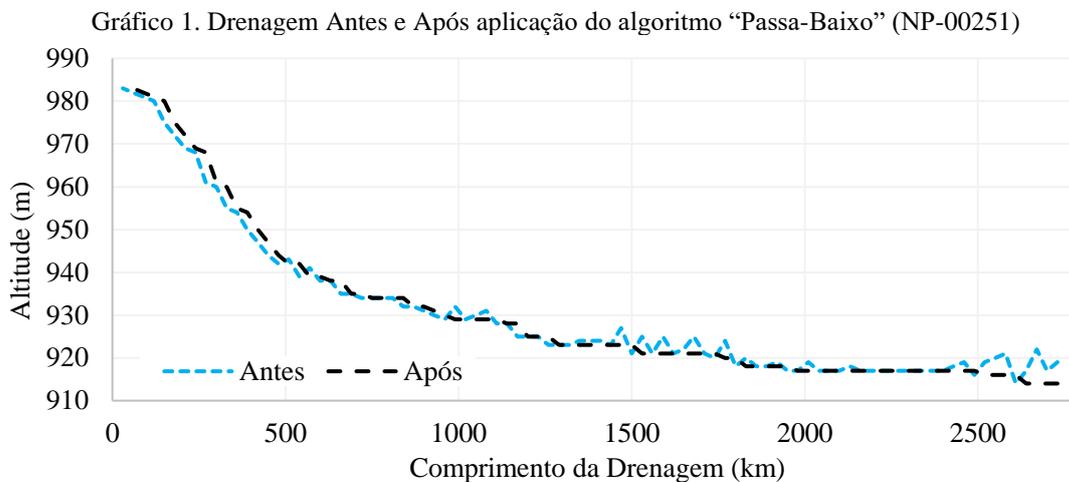


O segundo parâmetro morfométrico que utilizou um *plugin*, o Índice de Concavidade (ICon), foi mensurado a através do *NProfiler* de Pérez-Peña et al. (2017), no *software ArcGis 10.8*, a qual necessita de dois *inputs* principais, um arquivo vetorial de drenagem e um arquivo matricial com informação planialtimétrica, o MDE.

Após realizar alguns testes com drenagens mapeadas e outras drenagens geradas a partir de processamento automático em SIG derivados de MDE, observou-se que alguns erros aleatórios estavam ocorrendo nos resultados do *ICon*, visto que os resultados estavam muito discordantes. O erro observado foi devido a incompatibilidade da drenagem vetorizada com o MDE selecionado, sendo o primeiro mais acurado que o segundo, respectivamente e, assim, extraiu-se informações altimétricas com ocorrência de ruídos (Gráfico 2). Dessa forma, houve a necessidade de adequação da drenagem mapeada a uma informação hidrologicamente consistente.

Após alguns testes, encontrou-se uma forma de contornar o problema, assim foi utilizado o algoritmo passa-baixa, o qual estabelece que a altitude da nascente teria o valor mais

alto e os valores a jusante teriam que ser iguais ou menores que os valores anteriores (Gráfico 2).

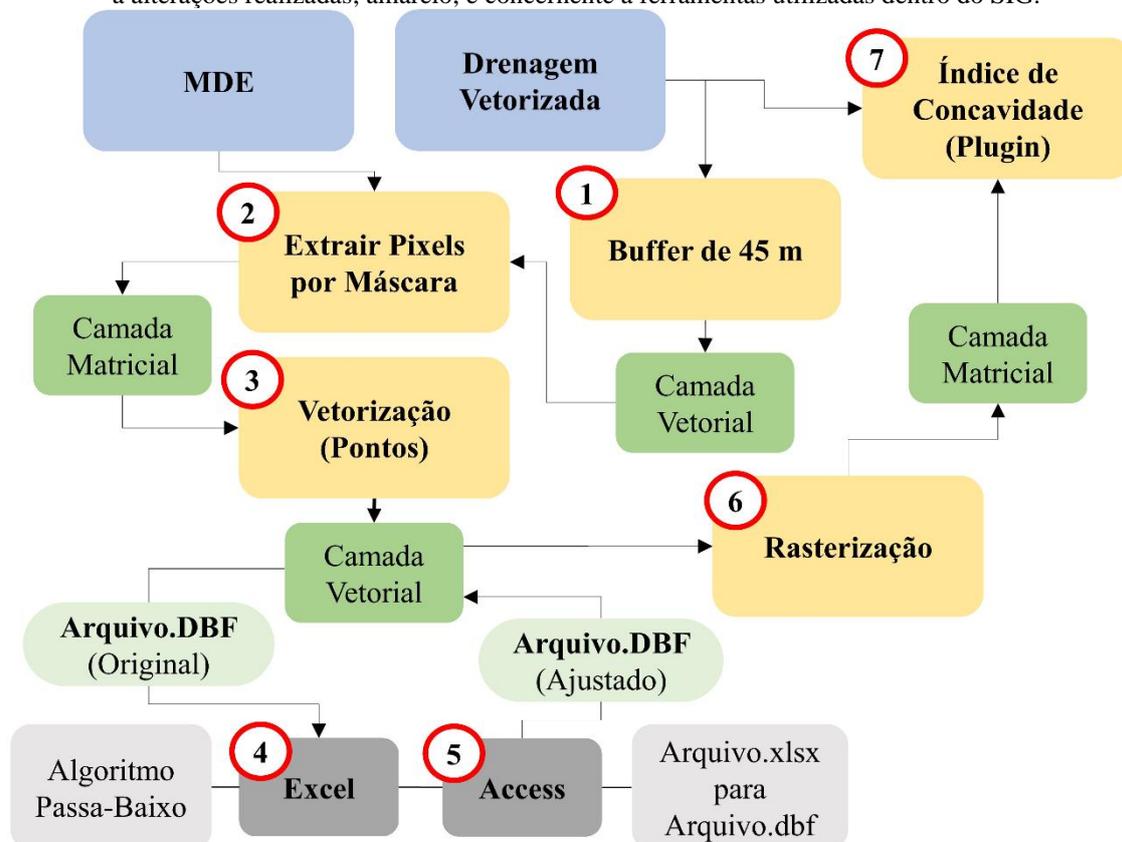


A aplicação do algoritmo passa-baixa passou por diferentes processamentos no *software ArcGis 10.8*, *Excel* e *Access Microsoft* (Figura 16), as etapas são apresentadas a seguir:

1. Criou-se um arquivo vetorial representando um buffer com raio de 45 metros em torno do curso d'água principal. O raio de 45 metros foi estabelecido depois de testes, visto a constatação de erros na execução do plugin quando somente havia a extração dos pixels limitados ao trecho do curso d'água;
2. Extraíu-se dos pixels do MDE a partir do buffer de 45 metros do curso d'água;
3. Vetorizou-se a camada matricial para vetorial tipo pontos, extraindo a informação altimétrica do MDE;
4. Aplicou-se o algoritmo passa-baixa com os valores de altimetria, com o objetivo de tornar a drenagem em análise hidrológicamente consistente. Portanto, foi aberto o arquivo dbf na planilha eletrônica Excel, aplicado o algoritmo e, por fim, foi salvo o arquivo xlsx.
5. O arquivo xlsx foi aberto no programa Access e depois foi salvo como arquivo dbf. O referido arquivo foi substituído na estruturada de dados da camada da drenagem principal, que permitiu o curso d'água se tornar hidrológicamente consistente.
6. A rasterização da camada vetorial, com o arquivo dbf substituído foi realizado, fornecendo um arquivo raster com valores de altimetria para a área do buffer gerado para o curso d'água em análise.
7. A partir da camada de entrada (drenagem vetorizada), ou curso d'água principal da bacia hidrográfica, e o arquivo raster gerado a partir do ajuste dos valores altimétricos possibilitado pelo algoritmo passa-baixo, foi possível executar o plugin do Índice de Concavidade.

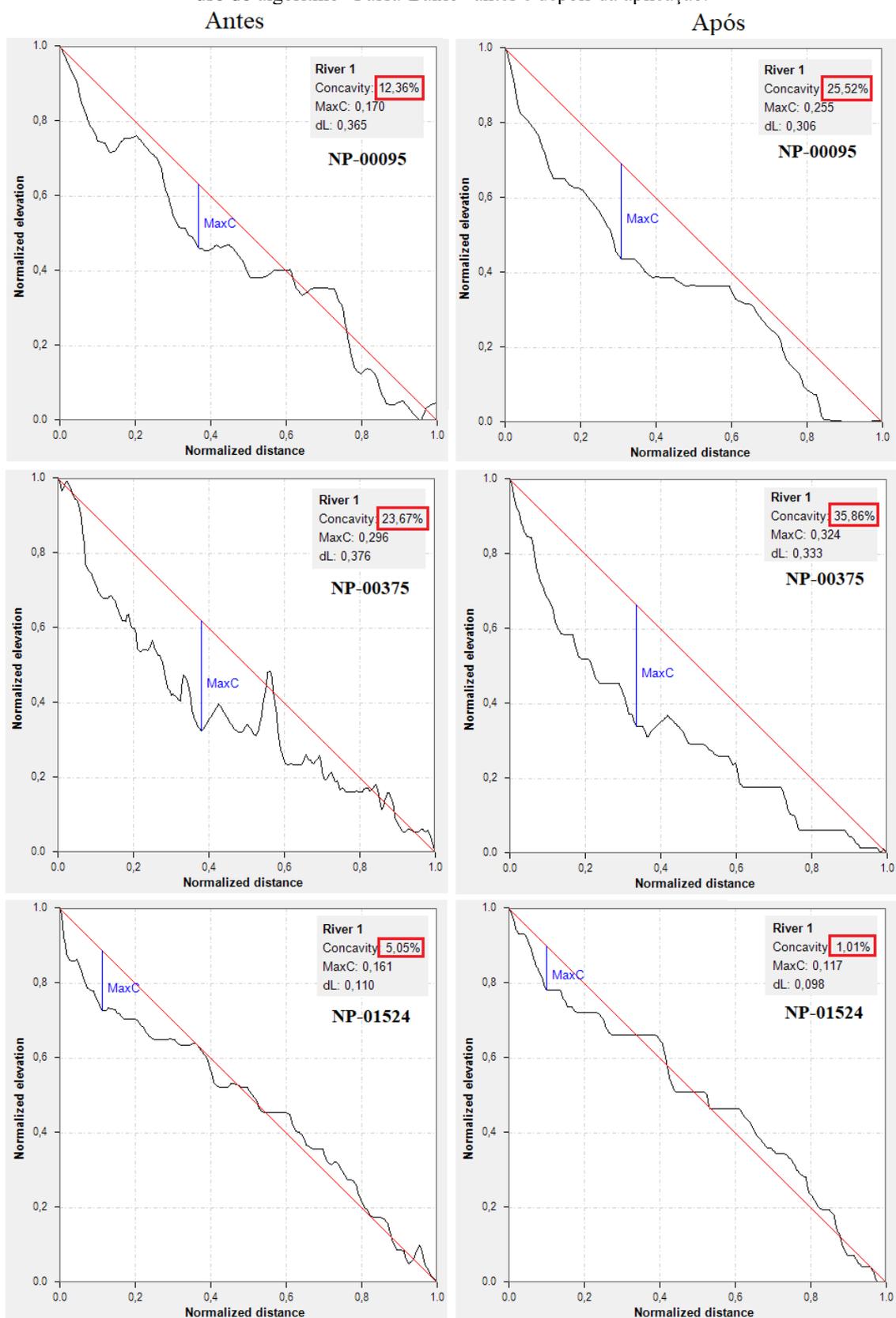
Figura 16. Etapas realizadas para tornar a drenagem hidrológicamente consistente a partir do algoritmo passa-baixa. No fluxograma apresentado, as etapas estão enumeradas em sequência de atos e os *boxes* do

fluxograma elaborado possui significado particular, sendo a cor: azul, são *inputs* do processamento realizado; verde musgo, refere-se a arquivos gerados no processo, tanto vetorial, quanto matricial; verde claro, são os arquivos *dbf*; em cinza escuro são os *softwares* da *Microsoft* utilizados; cinza claro, refere-se a alterações realizadas; amarelo, é concernente a ferramentas utilizadas dentro do SIG.



A diferença entre o uso da drenagem antes e após a aplicação do algoritmo passa-baixa pode ser visto na própria expressão gráfica do *plugin NProfiler* e nos valores gerados (Figura 17). Não obstante, após o ajuste descrito das drenagens para torna-las hidrologicamente consistentes e o processamento pelo referido *plugin*, o valor de *Icon* para cada riacho foi inserido nos respectivos *scripts*.

Figura 17. Expressão gráfica e dos valores gerados para o Índice de Concavidade da drenagem a partir do uso do algoritmo “Passa-Baixo” antes e depois da aplicação.



3.5 Aspectos da Paisagem

A inserção de variáveis além dos parâmetros morfométricos de bacia hidrográfica é importante porque permite observar o quanto os demais componentes dos sistemas ambientais influenciam nos habitats físicos fluviais. Nessa perspectiva, foi selecionado informações pedológicas, geológicas, climáticas, uso e cobertura da terra, além de formas de relevo.

Pedologia e Geologia

Em relação as informações relacionadas a pedologia (tipos de solos) e a geologia (tipos de rochas), reconhece-se que os mapeamentos disponíveis do território brasileiro para as áreas de estudos não são adequados a pequenas escalas geográficas (como bacias hidrográficas de pequenos riachos). No entanto, acredita-se que a adoção dessas informações venha a ser importante para a diferenciação regional dos habitats físicos amostrados.

Os mapas contínuos do IBGE (2019) para os temas pedologia e geologia, na escala de 1:250.000, foram adquiridos e recortados para as bacias hidrográficas. Em relação as informações espaciais de solos, 8 classes de primeira ordem foram encontradas nas bacias hidrográficas dos riachos, sendo elas: Latossolo, Cambissolo, Argissolo, Neossolo, Gleissolo e Nitossolo.

Por outro lado, as informações espaciais sobre os tipos de rochas tiveram que ser agregadas devido ao grande número de informações. O critério para a agregação foi a partir da similaridade de gênese, composição de mineralógica e fragilidade ao intemperismo a partir do clima atuante. No fim, de 21 classes originais, 7 classes agregadas foram usadas (Quadro 4).

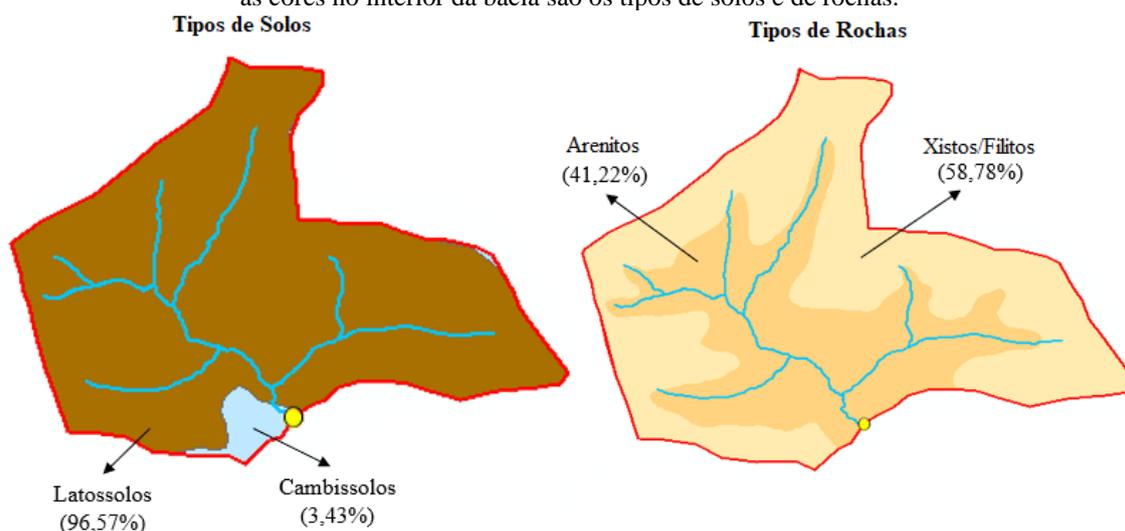
Quadro 4. Classes de litotipos originais e classes agregadas a partir de afinidades genética, mineralógica e susceptibilidade.

Classes de Litotipos Original	Classes de Litotipos Agregadas
Aglomerado, Areia, Argila, Laterita	Areia_Argila
Areia	
Areia, Argila, Cascalho, Laterita	
Arcóseo, Argilito, Calcarenito, Dolomito, Folhelho, Siltito, Ritmito, Marga	Arcóseo/Argilito
Arcóseo, Argilito, Siltito	Arenito
Arenito	
Arenito fino, quartzo arenito	
Arenito, Arenito conglomerático, Pelito	
Arenito, Arenito Conglomerado	

Arenito, Argilito arenoso	
Arenito, Argilito, Siltito	
Arenito, Conglomerado, Folhelho, Siltito	
Arenito, Tufo lapillítico	
Folhelho, Siltito, Marga	
Clorita xisto, Muscovita-biotita xisto	Folhelho
Filito	Xisto/Filito
Metapelito	
Xisto, Filito, Grafita xisto, Sericita xisto, Mica xisto, Metarenito	
Carbonatito, Dunito, Piroxenito, Peridotito	
Dacito	Ígnea
Granito	

Após o recorte das informações espaciais dos tipos de solos e dos tipos de rochas, houve a agregação dos dados em linguagem R, com a elaboração de um script e a extração do valor de porcentagem de área ocupada na bacia hidrográfica para cada uma das classes finais de ambos os temas (Figura 18), os quais foram utilizados na pesquisa.

Figura 18. Representação de uma bacia hidrográfica com os tipos de solos e porcentagem de área ocupada à esquerda e de tipos de rochas e porcentagem de área à direita. A linha em vermelho nas bordas representa a área de captação, as linhas em azul as drenagens, os pontos em amarelo os sites amostrais e as cores no interior da bacia são os tipos de solos e de rochas.



Formas de Relevo, Declividade e Orientação das Vertentes

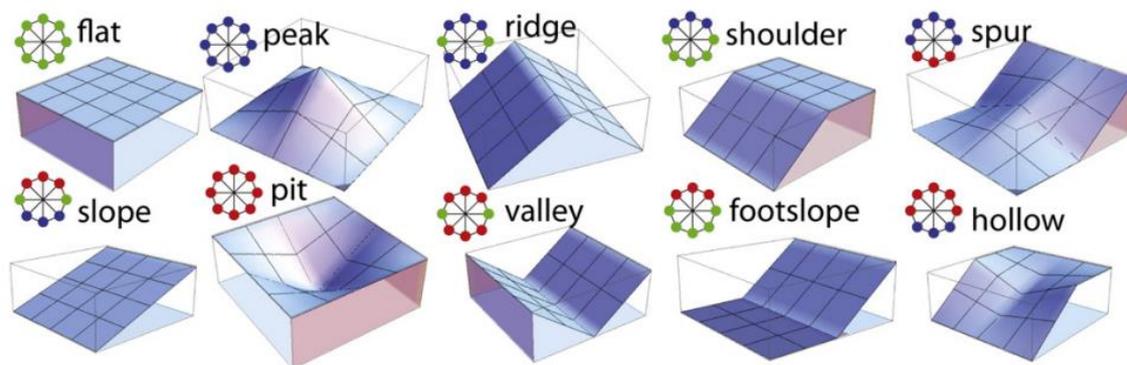
As formas de relevo e os aspectos geomorfológicos, como a declividade e a orientação das vertentes, são informações importantes para a compreensão dos processos condicionados pelo relevo, além dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas estudadas de forma extensiva na presente investigação.

Em relação as formas de relevo, buscou-se utilizar diferentes propostas a fim de observar a relação com as métricas de habitats físicos de riachos. É possível encontrar na literatura muitas metodologias que visam representar as feições geomorfológicas a nível de bacia

hidrográfica (vale, topo, encostas etc.), decidiu-se selecionar duas propostas, sendo a primeira conhecida como *geomorphons* (STEPINSKI; JASIEWICZ, 2011; JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013), e a segunda é a partir das curvaturas plana, perfil e geral (VALERIANO; ROSSETTI; ALBUQUERQUE, 2009).

Os *geomorphons* é uma proposta que busca mapear e classificar automaticamente, a partir de MDE, padrões ternários geométricos das superfícies terrestre para as formas de relevo mais comuns a nível local (STEPINSKI; JASIEWICZ, 2011; JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013). A proposta metodológica se baseia em um processamento que, em suma, considera cada célula da malha matricial do MDE a uma forma de relevo específica. O valor de altitude da célula selecionada é compara as células vizinhas e estabelecido um padrão ternário, como valores maiores, menores ou iguais a celular vizinha e, a partir do padrão encontrado, é atribuído uma forma de relevo específica (Figura 19). A distância de busca é uma das mais importantes informações, pois influencia diretamente na generalização das formas de relevo (JASIEWICZ; STEPINSKI, 2013).

Figura 19. Ilustração dos 10 relevos mais comuns identificados pela proposta de Jasiewicz e Stepinski (2013), correspondendo ao padrão ternário identificado. Fonte: Jasiewicz, J., Stepinski, T 2013. Tradução para o português das formas: *Flat* - Plano; *Summit* - Pico; *Ridge* - Crista; *Shoulder* - Crista Secundária; *Slope* - Encosta; *Hollow* - Escavado; *Footslope* - Sopé.



As formas de relevo, *geomorphons*, foram gerados para todas as bacias hidrográficas em análise a partir da ferramenta *r.geomorphons* do *software GRASS GIS 7.8.5*, acoplado no *QGis 3.16.3*. A referida ferramenta tem como *input* o MDE da bacia hidrográfica em análise e os parâmetros internos, que são (os valores apresentados foram estabelecidos a partir de diferentes testes em diferentes bacias hidrográficas, a fim de encontrar um padrão que melhor se adequasse a todas as unidades hidrológicas):

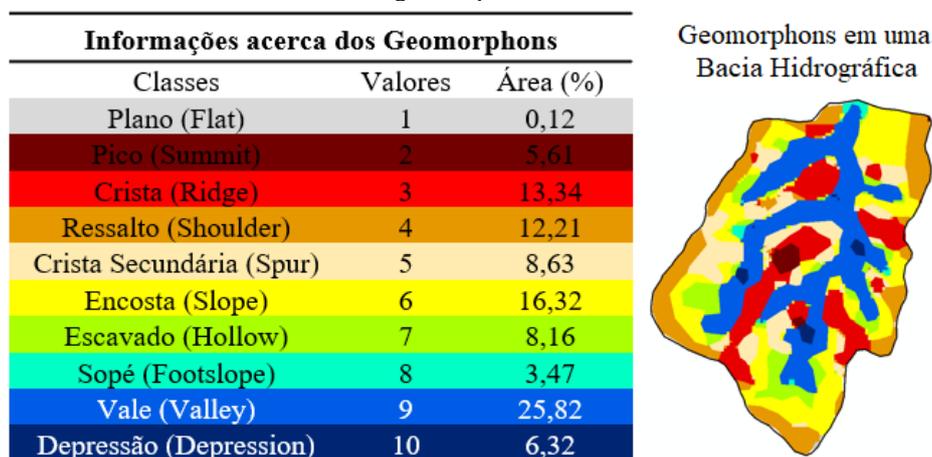
- Raios Externos (valor 11), que aumenta ou diminui a abrangência das formas de relevo de maneira global;
- Raio de pesquisa interno (valor 4), que generaliza as formas de forma local;

- Liminar de nivelamento (valor 3), sendo que abaixo do valor estimado em graus a forma é informada como plana;
- Distância plana (valor 10), a qual não teve muito efeito sobre as formas, porém quando atingiu o teste com valor 10 houve uma melhora na representação.

Os *geomorphons* gerados passaram por filtragem a fim de generalizar as formas de relevo, a partir da ferramenta *majority filter* do *SAGA GIS 7.8.2*, dentro do *QGIS 3.16.3*, com tais parâmetros: modo de pesquisa = circle; raio = 5; e limite = 0. Os valores dos *geomorphons* foram reclassificados com o mesmo valor, visto que o arquivo gerado não era *geotiff*, mas um tipo de arquivo que não possibilitava o uso do próximo processamento, *raster to polygon*.

A vetorização dos *geomorphons* foi importante para a mensuração da área percentual por cada forma de relevo no interior da bacia hidrográfica, sendo essa a informação utilizada para análise com os habitats físicos. Antes de obter essa informação, foi utilizado a ferramenta *dissolve* para que as feições de cada forma do relevo sejam unitárias, facilitando a tabulação da área percentual. A figura 20 mostra um exemplo de uma classificação de formas de relevo elaborada a partir do método dos *geomorphons*.

Figura 20. Representação da bacia hidrográfica a partir das formas de relevo classificada pelo método *geomorphons*.

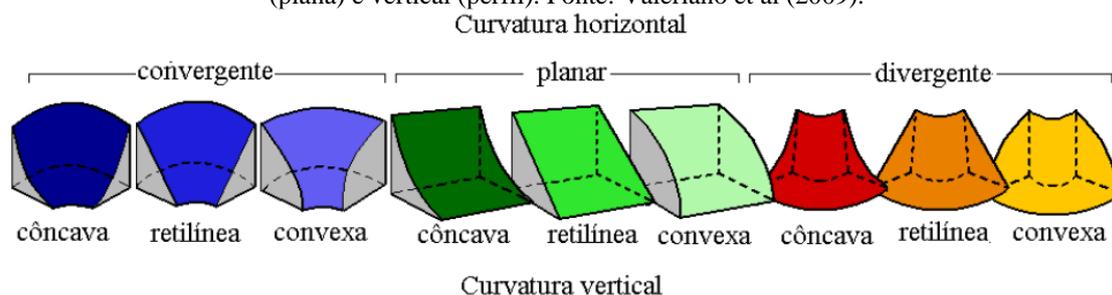


A outra proposta de formas de relevo utilizada na presente pesquisa, baseia-se nas curvaturas dos relevos, como plana, perfil e a combinação destas, a curvatura geral. As formas propostas combinam diferentes formas na direção horizontal (convergente, planar e divergente) e direção vertical (côncava, convexa e retilínea), sendo importantes para entendimento de processos de fluxos e acúmulo d'água na superfície, além de influenciar

no comportamento da evapotranspiração (VALERIANO; ROSSETTI; ALBURQUERQUE, 2009).

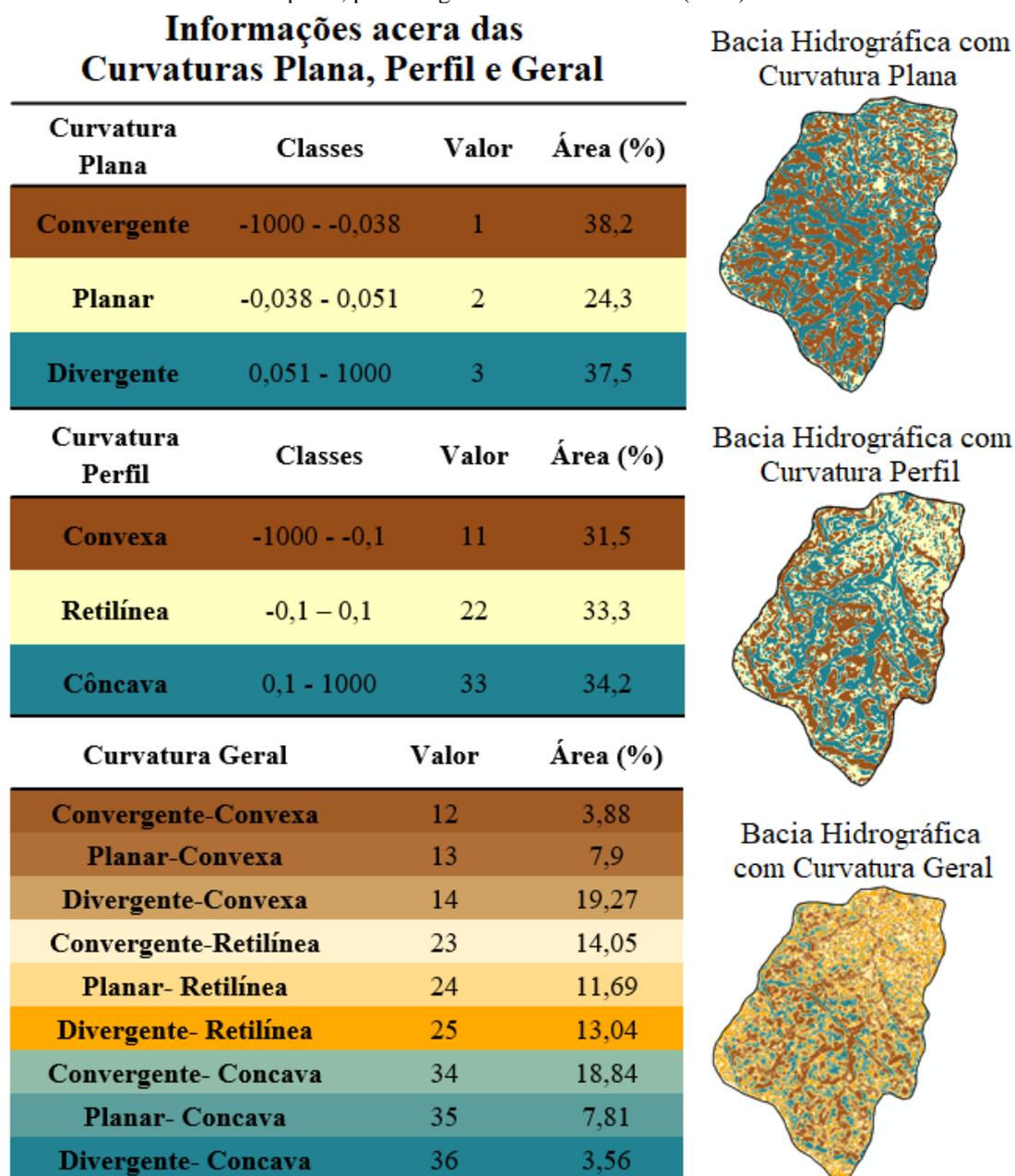
As formas de relevo de curvaturas foram geradas no *software ArcGis 10.8* a partir da ferramenta *curvature* para as bacias hidrográficas em estudo. Assim como nas formas de relevo dos *geomorphons*, utilizou-se a filtragem a fim de generalizar as formas de relevo, a partir da ferramenta *majority filter* do *SAGA GIS 7.8.2*, dentro do *QGIS 3.16.3*, com tais parâmetros: modo de pesquisa = circle; raio = 5; e limite = 0. Os valores gerados como identificador das formas de relevo (Figura 21) foram mantidas para a curvatura plana (1 – Convergente, 2 – Planar e 3 – Divergente), porém reclassificadas para a curvatura vertical (11 – Convexa, 22 – Retilínea e 33 – Côncava), afim de facilitar o cruzamento de ambas e gerar a curvatura geral (Figura 21).

Figura 21. Representação da Curvatura Geral mediante a combinação entre as curvaturas horizontal (plana) e vertical (perfil). Fonte: Valeriano et al (2009).



Dessa forma, ao cruzar a área da curvatura plana com feições convergente com a área da curvatura perfil com feições convexa, o resultado foi a curvatura geral com feições convergente-convexa com valor 12 (Figura 22).

Figura 22. Exemplo de Formas de Relevo para uma bacia hidrográfica baseado na proposta de curvaturas perfil, planar e geral de Valeriano et al. (2009).

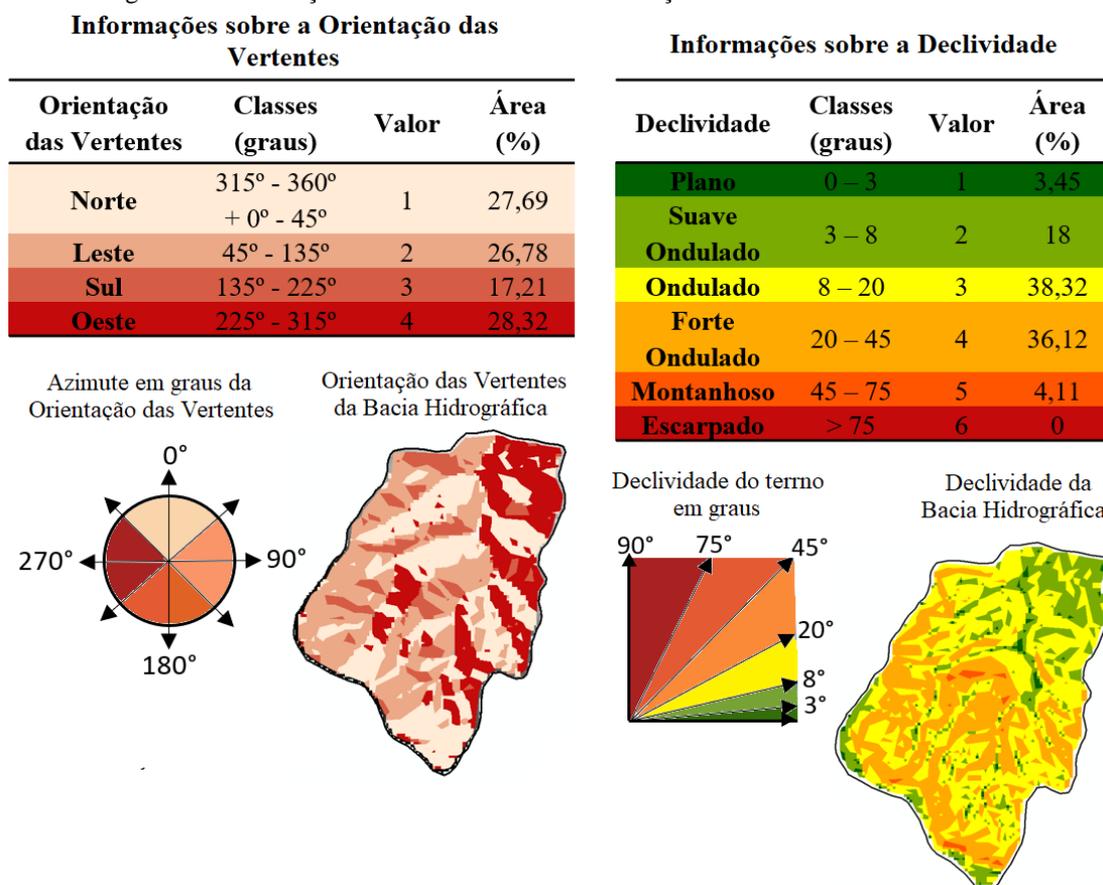


A curvatura geral foi gerada a partir do cruzamento entre as curvaturas planar e perfil viabilizada pela ferramenta *raster calculator* do software *ArcGis 10.8*. Os produtos gerados foram vetorizados (*raster to polygon*) e as feições semelhantes agregadas (*dissolve*). A área percentual de cada forma de relevo gerada para os três produtos baseados em curvaturas foi mensurada e tabulada para a análise estatística.

A orientação das vertentes e a declividade foram geradas a partir do MDE pelas ferramentas *aspect* (orientação das vertentes) e *slope* (declividade), no software *ArcGis 10.8*. As direções das vertentes foram reclassificadas a partir de quatro direções

principais, norte (valor 1, direção 315° a 360° + 0° a 45°), leste (valor 2, direção 45° a 135°), sul (valor 3, direção 135° a 225°) e oeste (valor 4, direção 225° a 315°), já a declividade foi reclassificada em seis classes, como plano (valor 1, de 0° à 3°), suave ondulado (valor 2, de 3° à 8°), ondulado (valor 3, de 8° à 20°), forte ondulado (valor 4, de 20° à 45°), montanhoso (valor 5, de 45° à 75°), escarpado (valor 6, > 75°) (Figura 23).

Figura 23. Informações acerca das variáveis Orientação das Vertentes e Declividade.

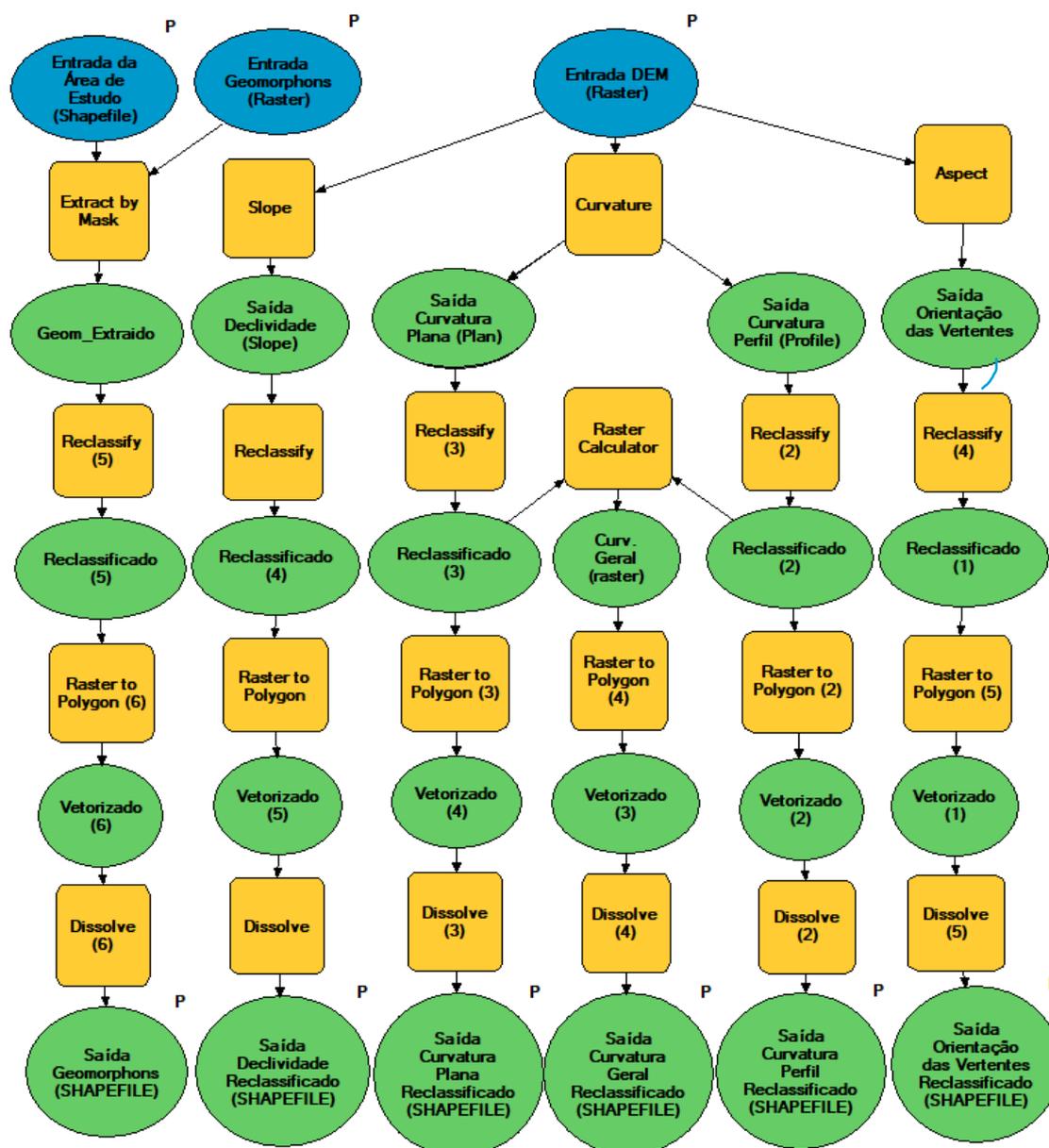


Após a reclassificação da Orientação das Vertentes e Declividade houve a vetorização dos referidos produtos e a agregação das feições semelhantes, possíveis através das ferramentas *reclassify*, *raster to polygon* e *dissolve* do software *ArcGis 10.8*, respectivamente.

Devido ao grande volume de dados a serem gerados de formas de relevo, orientação das vertentes e declividade para as 199 bacias hidrográficas, foi utilizado um *model builder* no *ArcGis 10.8* para sistematizar, controlar e agilizar a geração das formas de relevo (Figura 24). Os principais *inputs* foram o limite da bacia hidrográfica em formato vetorial, o arquivo *raster* da forma de relevo *geomorphons* gerado a partir do software *GRASS GIS 7.8.5* para todas as bacias hidrográficas de uma unidade hidrológica particular, e o último *input*, o MDE da referida bacia hidrográfica. Os *geomorphons* para cada bacia

hidrográfica foi extraída (ferramenta *extract by mask*) durante o processamento em *model builder*. As demais ferramentas utilizadas no processamento foram relatadas anteriormente para cada uma das informações de *output* (variáveis de formas de relevo, declividade e orientação das vertentes).

Figura 24. *Model Builder* construído para otimização da rotina de processamento dos dados referente as formas de relevo, declividade e orientação das vertentes.



Por fim, para manipulação e tabulação dos dados de interesse, as áreas percentuais das classes das formas de relevo, orientação das vertentes e declividade, foi elaborado um *script* por linguagem de programação R com a criação de um *data.frame*, sendo que na primeira coluna o identificador do site amostral/bacia hidrográfica foi estabelecido e as

demais colunas foram identificadas como as formas de relevo específicas, assim como para as classes de declividade e orientação das vertentes.

Aspectos Climáticos e de Altitude

Em relação aos aspectos climáticos, foi selecionado para a presente pesquisa a precipitação e temperatura média anual do banco de dados WorldClim (HIJMANS et al., 2005b), baseada em interpolações de estações pluviométricas em diferentes países ao redor do mundo. A grade interpolada possui uma célula mínima de 2,5 minutos, isto é, aproximadamente 21 km². Os dados de precipitação e temperatura foram adquiridos para os anos de 1980 à 2018, contemplando uma série maior que uma normal climatológica (30 anos). O download dos dados foi realizado no site do WordClim (<<https://worldclim.org/data/monthlywth.html#>>), e posteriormente em ambiente SIG, foi extraído as médias de temperatura e precipitação para as bacias hidrográficas de cada riacho em estudo.

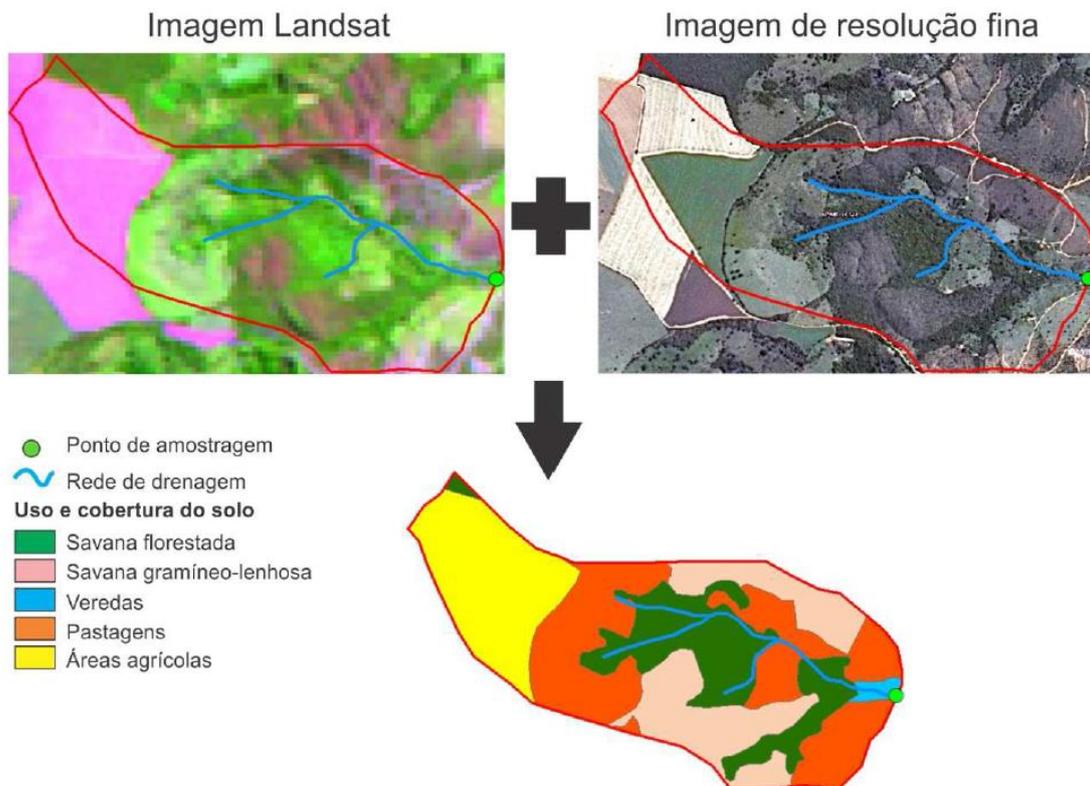
A altitude média do relevo foi adquirida partir de um MDE da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), uma missão aeroespacial da *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA) e da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que imageou a superfície terrestre no ano de 2000 entre as latitudes 60° Sul e 60° N (PURINTON; BOOKHAGEN, 2017). Após adquirir as imagens no site da *Eath Explorer* da NASA (<<https://earthdatanasa.gov/eosdis/daacs/asf>>), em SIG foi recorta das imagens os pixels correspondentes a cada bacia hidrográfica do riacho e mensurado sua média de altitude. Tanto as médias de precipitação e temperatura, quanto a média da altitude, foram tabuladas para análises posteriores.

Uso e Cobertura da Terra

O uso e cobertura da terra foi classificado a partir das imagens multiespectrais dos satélites *Landsat* sensor *TM* e, para isso, foi realizado uma classificação manual com auxílio de imagem de resolução fina disponível no *Google Earth*, de cada sub-bacia das cinco unidades hidrológicas (MACEDO et al., 2014b). Assim, além da imagem multiespectral que auxiliou na diferenciação das vegetações e demais coberturas pelas respostas espectrais, as imagens de resolução fina permitiram capturar através da forma e da textura dos elementos de as classes pré-definidas (Figura 25). O procedimento foi realizado para todas as bacias hidrográficas de riachos das unidades hidrológicas e a informações da porcentagem da área das classes de savana florestada, savana gramíneo-

lenhosa, veredas, pastagens e áreas agrícolas foram identificadas e utilizadas na presente pesquisa.

Figura 25. Representação esquemática do processo de classificação do uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas dos riachos em estudo. Fonte: Macedo et al (2014b).



3.6 Habitats Físicos de Riachos

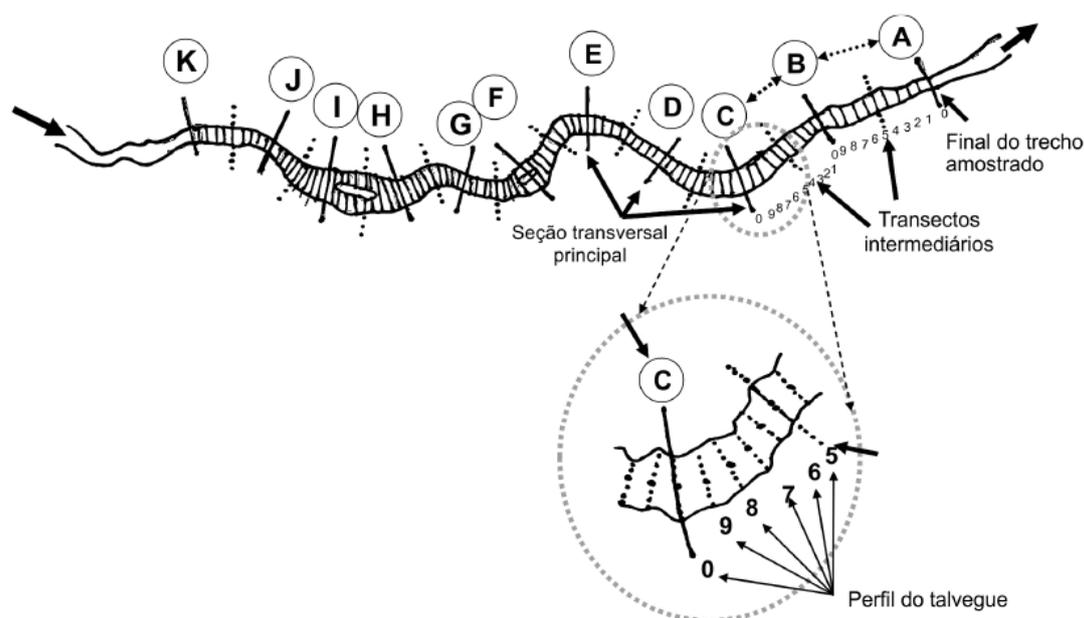
Amostragem dos Sites

Os procedimentos de levantamento dos habitats físicos de riachos perpassam por diversas etapas, com o intuito de selecionar riachos de amostras de forma aleatória e consistente. A metodologia para definição das amostras é baseada nas diretrizes proposta pela *US-EMAP Wadeble Stream* (OLSEN; PECK, 2008), os quais se fundamentam em criar um conjunto maior de amostras (*master sample*) e, partir da mesma, filtrar os pontos amostrais de forma balanceada a partir de um *ranking* (OLSEN; PECK, 2008) para toda a rede de drenagem da área de estudo (MACEDO et al., 2019). O procedimento foi realizado para os projetos Programa Peixe Vivo/CEMIG (2009-2013), P&D ANEEL-CEMIG GT-487 e CRA 3147 FAPEMIG-CEMIG (2013-2017) e FAPEMIG-CEMIG APQ-01961-15 (2015-2018).

Avaliação dos Habitats Físicos de Riachos

A avaliação dos habitats físicos de riachos segue um protocolo da EPA dos US (PECK et al., 2006), o qual ocorre em um trecho de 40 vezes a largura molhada, com no mínimo 150 metros. O referido trecho é particionado em 11 seções transversais (A-K), ou transectos principais, e entre estes, são medidas mais dez transectos intermediários com equidistância entre elas que são numeradas entre 1 à 10 (Figura 26). O método é assim proposto visto que nas seções transversais são avaliados aspectos dos habitats físicos e coletadas amostras de substratos e para identificação dos macroinvertebrados bentônicos, enquanto que nos transectos intermediários, mais aspectos dos habitats físicos são coletados, além de amostras de peixes (MACEDO et al., 2014b).

Figura 26. Esquema explicativo da forma do particionamento em seções transversais e transectos dos riachos para avaliação dos habitats físicos. Fonte: Peck et al. (2006).



Devido ao grande conjunto de informações de habitats físicos de riacho que são possíveis de serem coletadas e avaliadas na aplicação do protocolo da EPA dos US (PECK et al., 2006), houve a necessidade de seleção de algumas variáveis para o presente estudo. O critério de seleção das variáveis de habitats físicos de riachos utilizadas na presente pesquisa perpassou pelo potencial relação teórica dessas características dos riachos com a dinâmica hidrológica, com os processos de dissecação e as dinâmicas de sedimentos que podem ser explicadas pelos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas. A dinâmica hidráulica a partir da forma da bacia, a energia potencial gravitacional da rede de drenagem mais jovens à senil, a maior ou menor dissecação do relevo, a capacidade de arraste dos sedimentos etc., foram levadas em consideração. Desse modo, 24 variáveis

foram selecionadas para a presente pesquisa, sendo estes referentes a três conjuntos de métricas principais, como a morfologia do canal, sedimentos e fluxo do canal (Tabela 4).

Tabela 4. Métricas de Habitats Físicos de Riachos

Tipo	Métrica (unid.)	Sigla
Morfologia do canal	Largura molhada do canal (m)	<i>XWIDTH</i>
	Profundidade do canal (m)	<i>XDEPTH_S</i>
	Relação profundidade-largura (m/m)	<i>XWD_RAT_P</i>
	Área molhada (m ²)	<i>XWXD</i>
	Largura do leito sazonal (m)	<i>XBKF_W</i>
	Profundidade do leito sazonal (m)	<i>XBKF_H</i>
	Ângulo das margens (graus)	<i>XBKA</i>
	Raio hidráulico do <i>bankfull</i>	<i>XBFWD_RAT</i>
	Declividade do canal (%)	<i>XSLOPE</i>
	Sinuosidade do canal (graus)*	<i>SINU</i>
	Piscina residual (m ² /100 m = cm)	<i>RP100</i>
Sedimentos	% finos	<i>PCT_FN</i>
	% areia	<i>PCT_SA</i>
	% cascalho fino	<i>PCT_GF</i>
	% cascalho grosso	<i>PCT_GC</i>
	% bloco	<i>PCT_CB</i>
	% matacão	<i>PCT_BL</i>
	Tamanho médio do substrato	<i>Dgm_X</i>
	Log10 - Estabilidade Relativa Leito (mm)	<i>LRBS</i>
	Log10 Subst. D50 (cm) **	<i>LSUB_DMM</i>
% de sedimento grosso enterrado	<i>X_EMBED</i>	
Fluxos	Vazão instantânea (m ³ /s)	<i>FLOW_2</i>
	% Corredeira + Rápidos	<i>PCT_FAST</i>
	% Piscinas	<i>PCT_POOL</i>

* Comprimento de alcance / Distância em linha reta entre as extremidades de alcance. ** Log10(do segundo percentil do diâmetro dos substratos)

A avaliação dos habitats físicos ocorreu em diferentes épocas e regiões, como a montante dos reservatórios hidrelétricos de Três Marias (MG) em 2010, Volta Grande (MG/SP) em 2011, São Simão (MG/GO) em 2012, Nova Ponte (MG) em 2013 e nas sub-bacias hidrográficas do rio Pandeiros (MG) em 2016. Todas essas regiões eram empreendimento hidroelétricos pertencentes a Companhia Energética de Minas Gerais à época das respectivas amostragens. Os dados *in loco* foram coletados através dos projetos de pesquisa supracitados nesse tópico. Nas unidades hidrológicas de Três Marias, Volta Grande, Nova Ponte e Pandeiros foram avaliados habitats físicos de 40 riachos, enquanto que São Simão foram avaliados habitats físicos de 39 riachos, totalizando 199 sites amostras de habitats físicos. Os levantamentos seguiram o mesmo protocolo de avaliação

de habitats físicos de riachos, orientando pela metodologia delineada por Peck et al. (2006).

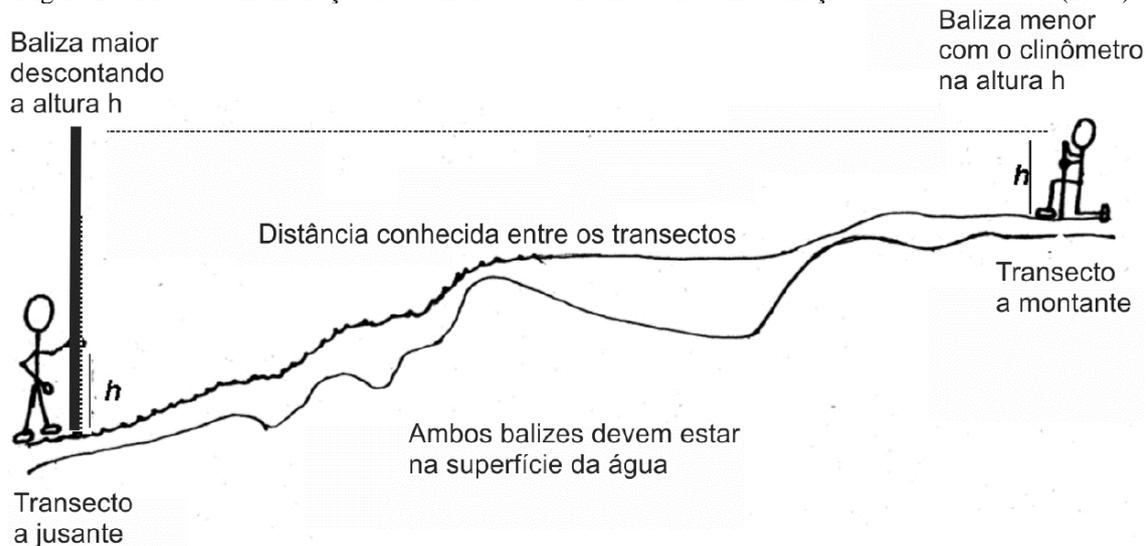
A morfologia do canal foi mensurada a partir do transecto principal (Figura 27), sendo os seguintes elementos do canal medidos: a profundidade, o qual foi mensurado no transecto principal e intermediário; a largura molhada; a largura e a altura da seção do canal no período de chuvas; e a incisão do canal.

Figura 27. Altura e largura do leito sazonal, fotografia registrada em setembro de 2009 na unidade hidrológica de Nova Ponte, na bacia hidrográfica do rio Araguari. Fonte: Macedo (2013).



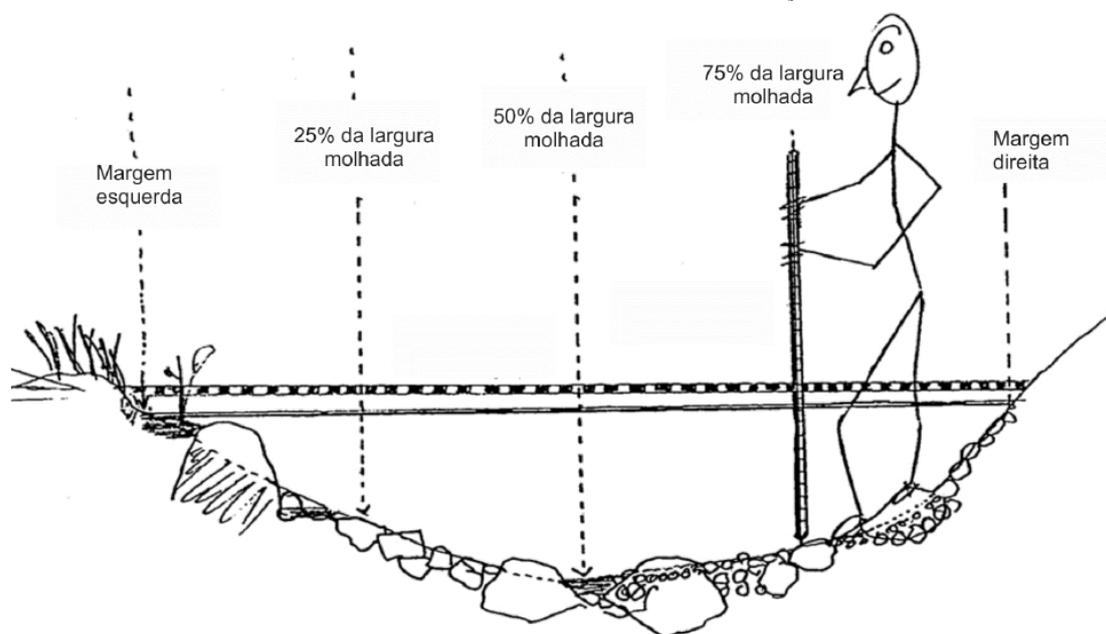
O gradiente longitudinal do riacho foi medido através do desnível de cada transecto principal (A-K), a partir da ação de dois operadores manuseando balizas altimétricas de um trecho ao outro do riacho em avaliação (Figura 28). Já a sinuosidade do canal é medida através de uma bússola, com relação ao norte geográfico.

Figura 28. Modo de mensuração da declividade do trecho do rio em avaliação. Fonte: Peck et al. (2006).



Os sedimentos de leito do trecho em avaliação, foram avaliados a partir da metodologia proposta por Peck et al. (2006), os quais propuseram medir o tamanho dos substratos em cada transecto, principal e intermediário, em cinco pontos equidistantes da largura molhada: iniciando na margem esquerda 0%, seguindo 25%, 50% 75% da largura molhada, por fim 100% na margem direita (Figura 29). As classes de substratos são: finos, < 0.06 mm; areia, > 0.06 a 2 mm; cascalho fino, > 2 a 16 mm; cascalho grosso, > 16 a 64 mm; bloco, > 64 a 250 mm; matacão, >250 a 4000 mm; rocha, > 4000.

Figura 29. Modo de mensuração do tamanho dos substratos a partir dos transectos principais e intermediários no trecho do riacho em avaliação.



Os tipos de fluxos são medidos a partir do perfil do talvegue, em cada transecto, como fluxos de piscinas, fluxo lento, corredeiras, rápidos e cascata, de acordo com a proposição de Peck et al. (2006; Figura 30).

Figura 30. Modo de mensuração dos tipos de fluxo. Fotografia registrada no momento da avaliação de um riacho na unidade hidrológica de Nova Ponte, bacia hidrográfica do alto rio São Francisco, em setembro de 2009. Fonte: Macedo (2013).



Dentre as métricas de substratos, o log da estabilidade relativa do leito é derivado de medidas primárias e permite estimar o processo de agradação e degradação do leito, em referência a capacidade de transporte de sedimentos (KAUFMANN et al., 2008). Desse modo, é analisado o diâmetro médio dos substratos leitos e se os sedimentos em geral foram menores do que o diâmetro crítico, ou seja, o sedimento de maior diâmetro capaz de ser carregado durante a época de cheias, quer dizer que o leito está instável (KAUFMANN et al., 2008). O índice de estabilidade do leito é mensurado a partir da equação 16, conferir Kaufmann et al. (2008) para mais detalhadas.

$$LRBS = \log \left(\frac{D_{gm}}{\left[\frac{(\rho_w g R_b f S)}{\theta (\rho_s - \rho_w) g} \right]} \right) \quad (16)$$

Onde: D_{gm} = diâmetro geométrico médio (m); ρ_w é a densidade da água (kg/m^3); g é a aceleração da gravidade (m/s^2); R_{bf} é o raio hidráulico do bankfull (m); S é a declividade do canal (m/m); θ é o parâmetro de Shields; ρ_s é a densidade do sedimento (kg/m^3).

3.7 Análise Estatística

Seleção das Variáveis Independentes

O conjunto de todas as variáveis explicativas na presente pesquisa, contando com os parâmetros morfométricos e os aspectos da paisagem, somaram-se 79 variáveis para os modelos explicativos por Unidade Hidrológica (UH) e, 84 para o modelo geral, sendo que as 5 variáveis adicionais eram *dummy* e representava a presença e ausência de cada UH.

Devido ao grande número de variáveis, e com intuito de evitar informações pouco influentes na estimação de modelos de regressão (FIELD, 2009), foi realizado critérios para filtragem a fim de retirar as variáveis que não eram estatisticamente pertinentes ou eram redundantes. Foram realizadas seis filtragem nas variáveis explicativas, uma com as informações de todos os riachos para realização de um modelo explicativo geral e outros cinco correspondendo aos riachos de cada UH.

Os critérios utilizados foram os seguintes e em ordem: excluir variáveis explicativas com baixa variação nos conjuntos de valores ($\geq 10\%$) a partir do coeficiente de variação; excluir as variáveis do tipo porcentagem (como, formas de relevo, orientação das vertentes, uso e cobertura da terra, etc.) que possuíssem valores abaixo de 10% de diferença entre os valores mínimos e máximos; excluir variáveis com mais de 90% de valores igual a 0; excluir variáveis explicativas que apresentarem $r < 0.25$ em relação a todas as variáveis respostas, afim de diminuir mais o número de variáveis explicativas e selecionar somente as mais importantes; ponderar e excluir excesso de variáveis que apresentarem $r > 0.7$ entre as variáveis explicativas, mantendo as que possuem coerência teórica com a estruturação dos habitats físicos.

A correlação entre as variáveis explicativas permitiu ponderar quais dessas variáveis ficaram para a modelagem estatística precedente, assim, variáveis altamente correlacionadas foram selecionadas depois da comparação e da averiguação de que a variável era importante para prever habitats físicos de riachos.

Modelo Linear Generalizado (MLG)

A influência dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas e os aspectos da paisagem nos habitats físicos de riachos foi analisado a partir de um modelo linear generalizado (MLG), visto que as características de habitats físicos de riachos podem naturalmente apresentar padrões não-lineares (LEAL et al., 2016; ALLAN, 2004;). A variável resposta, na presente investigação as características de habitats físicos de riachos (Tabela 4), é o componente aleatório do MLG, e as variáveis explicativas, isto é, os parâmetros morfométricos e os aspectos da paisagem, são o componente sistemático do MLG (CORDEIRO; DEMÉTRIO, 2008). A interação entre os componentes aleatório e o sistemáticos acontecem por uma função de ligação adequada para cada família de distribuição da variável resposta.

Antes da modelagem por MLG foi realizado uma análise de distribuição estatística das variáveis respostas pela função *fitdist* da biblioteca *fitdistrplus* (DELIGNETTE-MULLER et al., 2015) no ambiente estatístico R (R CORE TEAM, 2017), o qual retornou à distribuição estatística mais adequada para a variável resposta analisada.

As variáveis respostas que não possuíam distribuição normal, passaram por processo de linearização das observações. Portanto, utilizou-se o método de estimação do valor de lambda mais adequada para linearização da variável resposta (GUERRERO, 1993), que estava disponível na função *BoxCox.lambda* do pacote *forecast* (HYNDMAN et al., 2020) desenvolvido para ambiente R (R CORE TEAM, 2017). O processo de linearização utilizou o valor de lambda mensurado na função *BoxCox* (HYNDMAN et al., 2020), da mesma biblioteca e do mesmo *software* estatístico.

O MLG para cada variável resposta linearizada por transformação *Box-Cox* e para as variáveis explicativas selecionadas após a filtragem foi criado no mesmo *software* dos processos anteriores e com a função *glm* da biblioteca base *stats* R (R CORE TEAM, 2017). Os MLG foram submetidos ao algoritmo (função) *dredge* da biblioteca *MuMin* (BARTON; BARTON, 2015) com até 4 variáveis explicativas por modelo no ambiente estatístico R (R CORE TEAM, 2017), o qual selecionou o modelo mais parcimonioso pela importância acumulativa AIC (KENNETH; BURNHAM; ANDERSON, 2001).

A importância das variáveis explicativas para as variáveis respostas foi medida a partir dos pesos acumulados (W^+), sendo que o referido parâmetro varia entre 0 e 1, e quanto mais próximo de 1, mais importante a variável é para o modelo criado (KENNETH; BURNHAM; ANDERSON, 2001). Já a influência das variáveis explicativas do modelo

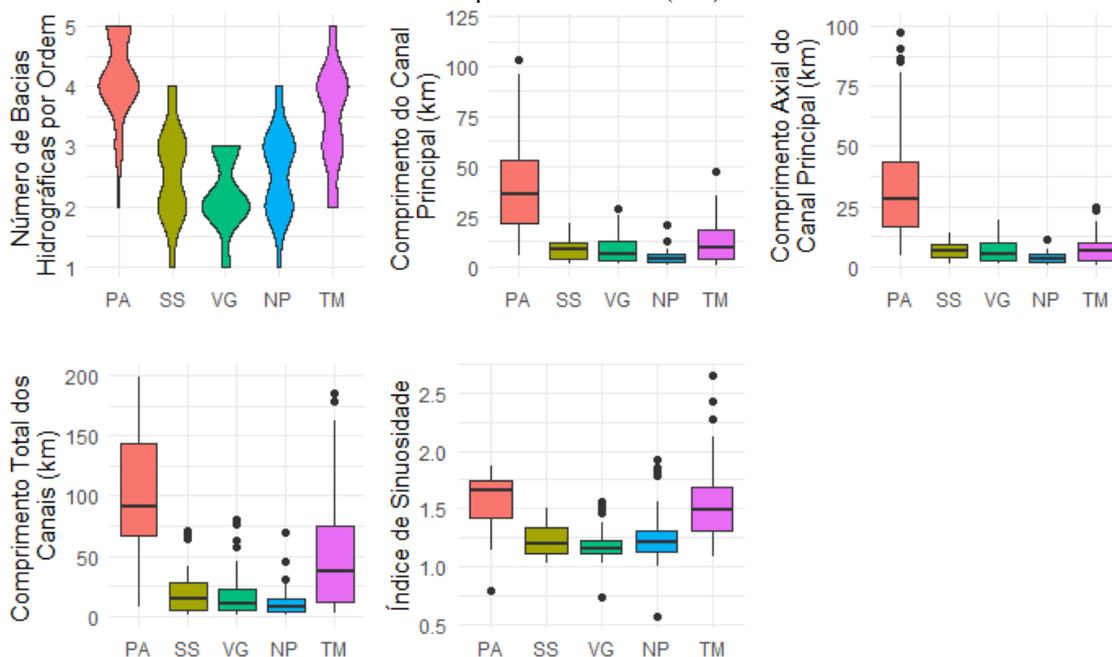
mais parcimonioso para cada variável resposta foi medida a partir dos coeficientes beta (β) gerado nos MLG mais parcimonioso. Assim, com os β foi possível mensurar o quanto a variável resposta varia a cada unidade que aumenta ou diminui nas variáveis explicativas.

4 RESULTADOS

4.1 Parâmetros Morfométricos nas Unidades Hidrológicas

Em relação os parâmetros morfométricos da classe linear (Figura 31), as unidades hidrológicas (UH) de Pandeiros (PA) e Três Marias (TM) apresentaram maior número de riachos com ordem 4 e chegaram à ordem 5, enquanto Volta Grande (VG) apresentou mais bacias hidrográficas com ordem 2. Não obstante, a UH de PA por possuir bacias com maior área (Figura 32), também apresentou comprimento dos canais maior do que as demais UH, seguida da UH de TM (Figura 31). O índice de sinuosidade dos canais principais das UH de SS, de VG e de Nova Ponte (NP) são predominantemente sinuosos, apesar de haver alguns *outliers* (Figura 31). Já as UH de TM e de PA possuem formas sinuosas para meandranes (Figura 31).

Figura 31. Resultado dos parâmetros morfométricos lineares para as bacias hidrográficas das unidades hidrológicas. As cores se referem as informações de cada unidade hidrológica, sendo: laranja para Pandeiros; musgo claro para São Simão (SS); verde para Volta Grande (VG); azul para Nova Ponte (NP); e rosa para Três Marias (TM).



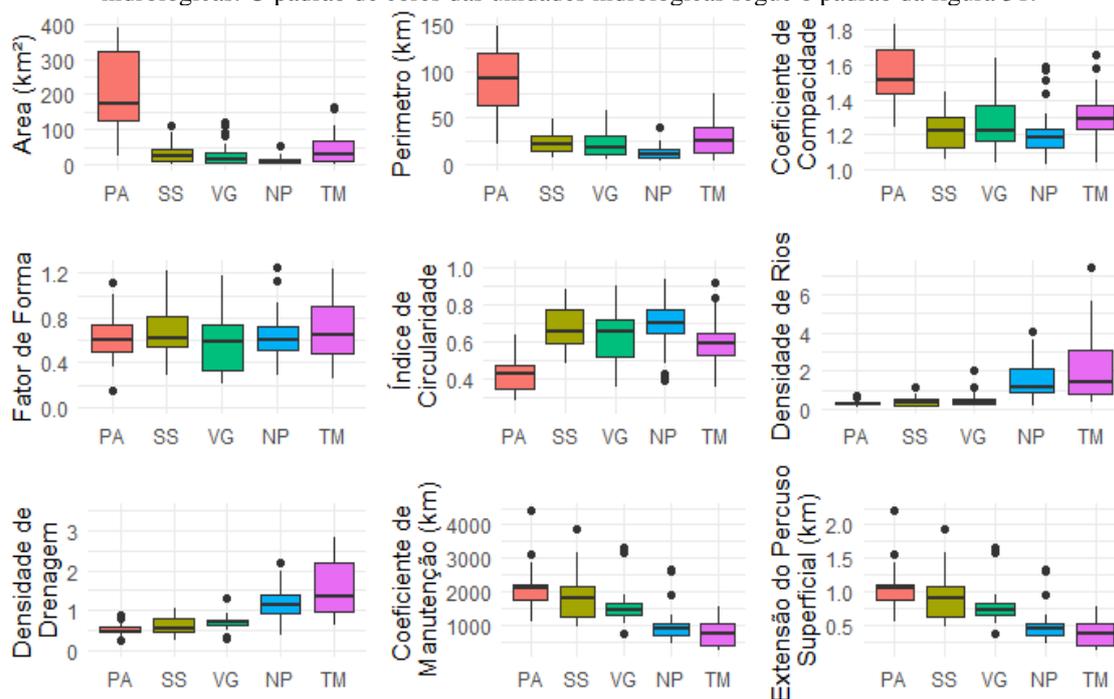
As maiores bacias hidrográficas de riachos amostrados são encontradas na UH de PA e, em contrapartida, as bacias dos riachos da UH de NP apresentaram um conjunto de bacias

com menor extensão e mais homogêneo (Figura 32). Já em relação as formas das bacias hidrográficas, os valores do coeficiente de compacidade (Kc) apontou que a UH de NP possui um conjunto de riachos com maior propensão à cheias rápidas em épocas de chuvas devido sua forma mais circular, enquanto na UH de PA as bacias são menos circulares e com menor possibilidade a resposta rápida das cheias (Figura 33). O índice de circularidade (Ic) traz a mesma informação, enquanto os valores de fator de forma (Kf) não apresentaram diferença significativa entre as UH (Figura 32).

A densidade de rios (Dr) e a densidade de drenagem (Dd) também apresentaram resultados semelhantes, os quais apontam que as UH de PA e de SS possuem menor densidade de rios e de drenagens por km^2 (Figura 32). Desse modo, as drenagens e o número de rios das UH supracitadas são mais esparsas do que as demais UH, indicando áreas com maior transmissibilidade, ou seja, maior capacidade de infiltração na superfície (Figura 32). Por outro lado, as UH de NP e de TM possuem riachos com maior número de drenagens, maior comprimento por área e, assim, relevo mais dissecado e menor transmissibilidade (Figura 32).

O coeficiente de manutenção (Cm) e a extensão do percurso superficial (EPS) são parâmetros morfométricos correlacionados a Dd por derivarem do mesmo, os quais indicam que as UH de PA e de SS necessitam de aproximadamente $1,9 \text{ km/km}^2$ para manter um metro de canal perene, em média, e cerca de $0,95 \text{ km}$ de distância média da água precipitada encontrar um curso d'água perene (Figura 32). Por outro lado, as UH de NP e de TM necessitam de menos área para manutenção do curso d'água perene, cerca de $0,8 \text{ km/km}^2$, e menor distância média da água percorrer até o curso d'água, aproximadamente $0,44 \text{ km}$ (Figura 32).

Figura 32. Resultado dos parâmetros morfométricos da classe zonal das bacias hidrográficas por unidades hidrológicas. O padrão de cores das unidades hidrológicas segue o padrão da figura 31.



O Índice de Rugosidade (I_r) das Unidades Hidrológicas foi em média maior nas bacias de Três Marias (306,64) do que nas demais, sendo o I_r menor nas UH de Volta Grande, São Simão e Pandeiros (aproximados 135 em média), padrão semelhante à declividade média das bacias hidrográficas, sendo maior nas UH de Nova Ponte e de Três Marias, e menor na UH de Pandeiros (Figura 33).

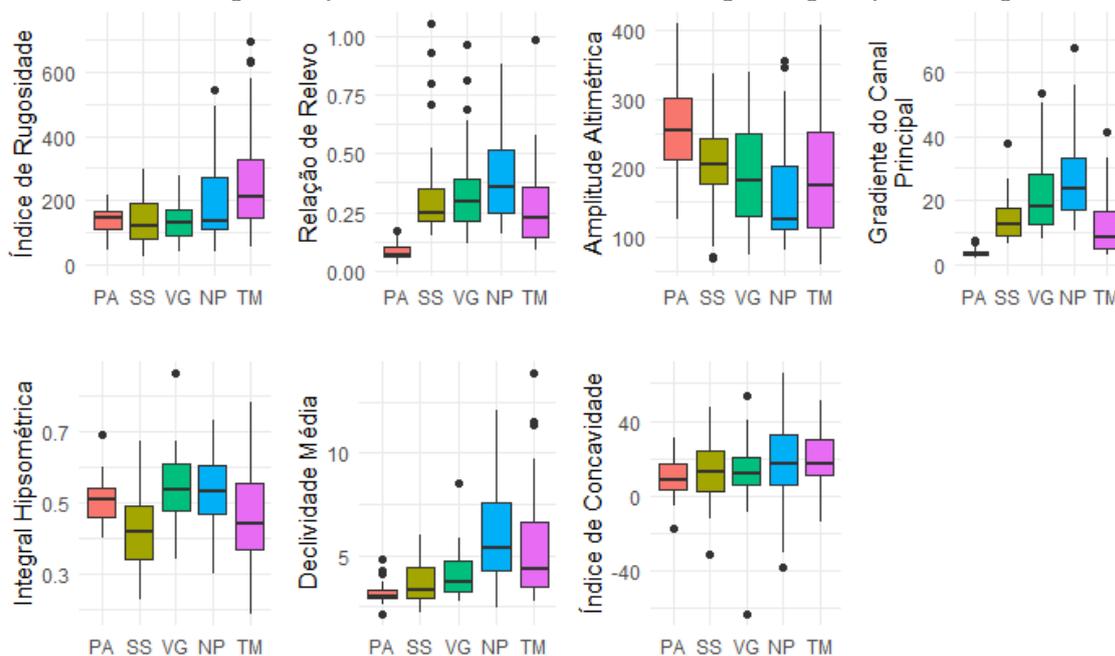
Apesar da amplitude altimétrica (H) das bacias hidrográficas na UH de Nova Ponte apresentarem, em média, 154 metros, a mais baixa dentre as UH, o gradiente do canal principal (G_{cp}) foi o maior constatado (méd. = 44,27). Em contrapartida, o inverso ocorre na UH de Pandeiros, a qual apresentou a maior H (méd. = 256 m) e o menor G_{cp} (méd. = 3,58; Figura 33).

A relação de relevo (R_r) também está relacionada a declividade média (D_m), sendo que a Unidade Hidrológica de Nova Ponte apresentou valor médio de 0,40 e a UH de Pandeiros somente 0,08, constando maior desnível nas bacias hidrográficas dos riachos da primeira UH, respectivamente (Figura 38). Não obstante, a D_m das bacias hidrográficas de NP é maior de forma geral (méd. = 5,87°), seguido de Três Marias (méd. = 5,52°), Volta Grande (méd. = 4,01°), São Simão (méd. = 3,75°) e Pandeiros (méd. = 3,17°; Figura 33). Apesar da maior amplitude altimétrica média, a UH-PA possui a maior

largura geral entre os extremos (foz à maior distância da bacia) e isso leva a menor Rr médio das UH em análise.

O resultado da integral hipsométrica (HI) aponta que as Unidade hidrológicas de Nova Ponte e Volta Grande possuem mais bacias hidrográficas acima de 0.5, indicando bacias mais jovens, com maior porcentagem de área nos patamares mais altos da bacia (Figura 33). A UH de Pandeiros apresentou valores próximos de 0.5, indicando bacias hidrográficas transientes, enquanto foi constatado nas UH de São Simão e Volta Grande bacias mais maduras, isto é, mais desenvolvidas e com menor percentual de área nas altas altitudes (Figura 33). Já o índice de concavidade do canal principal ($ICon$) apresentou de forma majoritária perfis com formato côncava para todas as UH, em raras exceções algumas (*outliers*) apresentaram valores negativos, isto é, perfis convexos que podem apresentar pontos de inflexões (*knickpoints*; Figura 33).

Figura 33. Resultado dos parâmetros morfométricos da classe hipsométrica das bacias hidrográficas por unidades hidrológicas. O padrão de cores das unidades hidrológicas segue o padrão da figura 31.



4.2 Aspectos da Paisagem nas Unidades Hidrológicas

As características da paisagem relativos as bacias hidrográficas para cada unidade hidrológica (UH) são apresentadas na figura 34 por gráficos boxplot e, na tabela 5, informa-se as características predominantes por UH. Além disso, ressalta-se que os resultados desse tópico, com exceção das variáveis altitude, precipitação e temperatura, que estão em suas respectivas unidades e indicadas no texto, possuem unidade de

percentagem de área ocupada pela classe na bacia hidrográfica dos riachos em análise (ex: litotipos, com as classes de rochas ígneas, arenitos, filitos etc.). A média apresentada no decorrer deste tópico (Figura 34) diz sobre a média das referidas variáveis nas bacias hidrográficas dos riachos por unidade hidrológica.

As bacias hidrográficas dos riachos da UH de Nova Ponte (NP) possuem elevada precipitação média anual (1564 mm) e altitude (méd. = 885 m), porém menor temperatura média anual (20,5°C), quando comparada as demais UH (Figura 34). Os litotipos predominantes nas bacias hidrográficas de NP foram rochas metamórficas (xistos/filitos; méd. = 69%), onde se desenvolveu em sua maior parte latossolos (méd. = 68%). Em relação as formas de relevo das bacias da UH de NP, destaca-se áreas de vale, ressalto e encosta, com poucas feições convergente-concava (Figura 35). A declividade em destaque para o relevo da UH de NP é suave ondulado à forte ondulado. O uso da terra predominante na referida bacia agricultura (méd. = 46,56%), podendo chegar à 80% da área ocupada, seguida da pastagem (méd. = 16,55%; Figura 34).

As bacias hidrográficas dos riachos da UH de Pandeiros, por outro lado, possuem baixa precipitação média anual (1100 mm) quando comparada as demais UH, com altitude média de 578 metros e temperatura média anual de 23°C (Figura 34). Os litotipos predominantes nas bacias hidrográficas na UH de PA foram rochas sedimentares (areia/argila e arenitos) onde se desenvolveu em sua maior porção neossolos (méd. = 47%) e latossolos (méd. = 33%; Figura 34). Em relação as formas de relevo da UH de PA, destacam-se as encostas (méd. = 34%) e as feições retilíneas (méd. = 46%; Figura 34), sendo a declividade predominante suave ondulado (méd. = 84%; Figura 34). A cobertura vegetal que se destaca na UH de PA é a savana parque (méd. = 40%) e, dentre os usos da terra, a pastagem (méd. = 33%; Figura 34).

A UH de São Simão também possui baixa altitude (méd. = 485 m) e alta temperatura média anual (méd. = 24°C), como a UH de Pandeiros, porém apresenta alta precipitação média anual (méd. = 1464 mm; Figura 34). As rochas predominantes nas bacias de hidrográficas de São Simão são de formação sedimentar (arenitos, méd. = 71%) e ígneas (méd. = 29%), com ocorrência predominante de latossolos (méd. = 90%; Figura 35). As encostas também são as formas de relevo em destaque na UH-SS (méd. = 45%) e a inclinação é predominantemente plana à ondulado, com destaque para suave ondulado (méd. = 69%; Figura 34). O uso da terra nas bacias hidrográficas dos riachos da UH-SS é majoritariamente de agricultura (méd. = 67%).

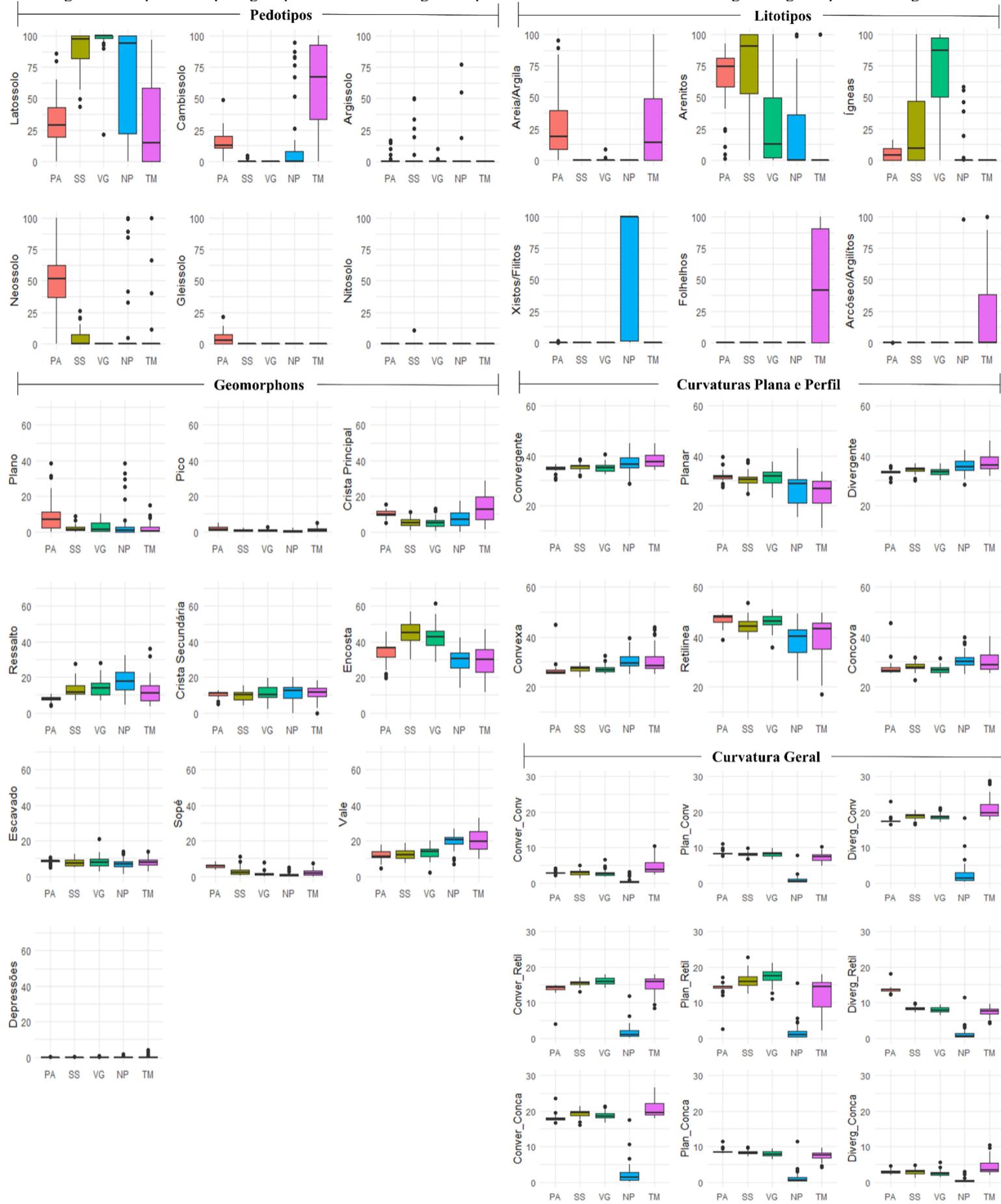
A UH de Três Marias possui valores intermediários de altitude (méd. = 659 m), precipitação e temperatura média anual (méd. = 1300 mm e 22°C) nas bacias hidrográficas dos riachos (Figura 34). As rochas em destaque nas bacias da UH de TM são de origem sedimentar, como folhelhos, areia, argila-argilitos e arcóseo (Figura 34), com desenvolvimento predominante de cambissolos e latossolos (méd. = 62% e 30%, em seguida; Figura 35). Nas bacias da UH de TM a forma de relevo de encosta (méd. = 29%) vale (méd. = 20%) se destacam. A declividade do relevo nas bacias de UH de TM é parecida com a da UH de NP, com relevos suave-ondulado a forte ondulado (Figura 34). A pastagem aparece novamente como o uso da terra predominante na UH de TM (méd. = 41%), seguida da vegetação savana (aproximados 14%) e com presença de plantio de eucalipto (méd. = 8.91%; Figura 34).

A UH de Volta Grande apresentou temperatura média anual (22°C) e altitude intermediárias assim como as bacias da UH de Três Marias (méd. = 620 m), porém com precipitação média anual alta (1544 mm), próximo a da UH de Nova Ponte (Figura 34). As bacias da UH de VG apresentaram rochas ígneas (méd. = 71%) e arenitos (méd. = 29%) na maior parte da área ocupada, com predomínio de latossolos (méd. = 97%; Figura 34). As encostas também foram destaque na UH de VG (méd. = 43%), enquanto a inclinação suave ondulada (méd. = 60%) e ondulado (méd. = 30%) foram majoritários (Figura 34). O uso da terra para agricultura (méd. = 70%) ocupa a maior parte da área superficial das bacias na UH de VG (Figura 34).

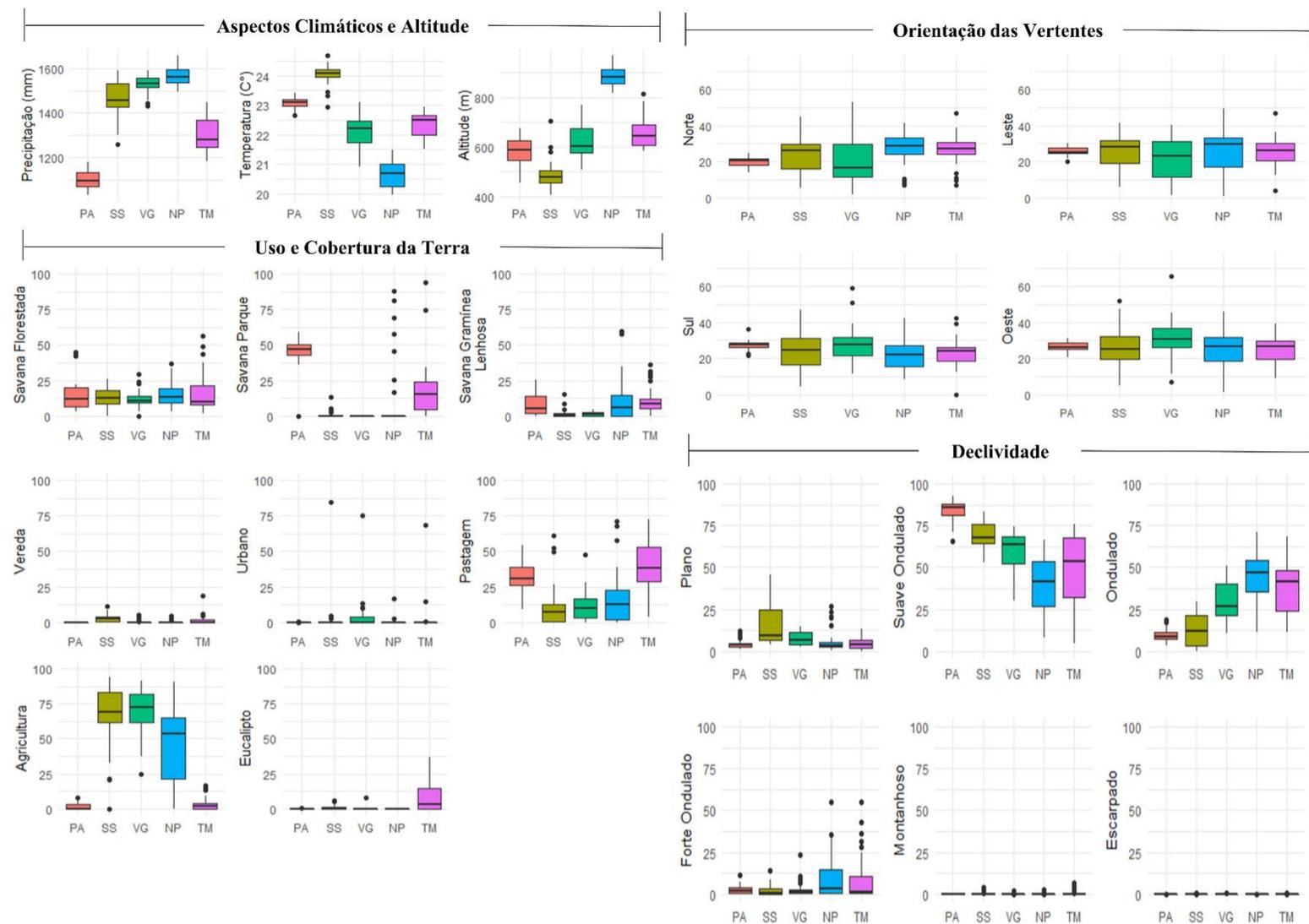
Tabela 5. Principais características da paisagem encontradas nas bacias hidrográficas dos riachos de cada unidade territorial. Onde há mais de duas classes (ex. Arenitos e Ígneas) quer dizer que o primeiro é predominante, porém com considerável parcela da segunda classe, respectivamente.

Características da Paisagem	São Simão	Volta Grande	Nova Ponte	Três Marias	Pandeiros
Litotipos predominantes	Arenitos e Ígneas	Ígneas e Arenitos	Xistos/Filitos e Arenitos	Folhelhos e Areia/Argilitos	Arenitos e Areia/Argilitos
Pedotipos predominantes	Latossolos	Latossolos	Latossolos	Cambissolos e Latossolos	Latossolos e Neossolos
Forma de Relevo predominante	Encosta	Encosta	Ressalto e Encosta	Vale, Crista Secu. e Encosta	Encosta
Precipitação média anual	1.464 mm	1544 mm	1.564 mm	1300 mm	1.100 mm
Temperatura média anual	24°C	22°C	20,5°C	22°C	23°C
Usos e Coberturas da Terra predominantes	Agricultura	Agricultura	Agricultura e Pastagem	Pastagem e Savanas	Savanas e Pastagem

Figura 34. Aspectos da paisagem por unidade hidrológica. O padrão de cores das unidades hidrológicas segue o padrão da figura 31.



Continuação da figura 34...



4.3 Habitats Físicos de Riachos nas Unidades Hidrológicas

Os resultados para as métricas de morfologia dos riachos demonstram a influência dos riachos de grande porte que só se encontram na Unidade Hidrológica (UH) de Pandeiros (PA), sendo que tal UH possui a maior largura molhada (méd. = 10.02 m) e maior profundidade (méd. = 48.74 m), enquanto as demais UH não apresentaram diferença significativa (Figura 35). A largura e profundidade do leito sazonal também mantêm o padrão dos leitos supracitados e provavelmente pelo mesmo motivo, chegando a ser, em média, quatro vezes e duas vezes maior na UH de PA do que nas demais UH, respectivamente (Figura 35). A área molhada dos trechos de riachos amostrados também foi quatro vezes maior em média na UH de PA e pouco se diferenciou entre as demais UH (Figura 35). O raio hidráulico do *bankfull* foi maior na UH de PA (méd. = 6.51), enquanto foi menor na UH de São Simão (méd. = 4.66) e em Volta Grande (méd. = 4.50).

Os ângulos das margens nos trechos dos riachos foram maiores, em média, na UH de Três Marias (méd. = 50.89°) e menor nos riachos amostrados na UH de PA (méd. = 34.13°), enquanto as demais UH não apresentaram diferença considerável (Figura 35), o que pode indicar menor estabilidade da margem na UH de PA. A declividade do trecho amostrado apresentou maior inclinação para os riachos da UH de NP (méd. = 14.50%) e revelou valores muito próximo de 0 para todos os riachos da UH de PA (Figura 35), resultado que pode estar relacionado ao litotipo predominante na UH de NP (xistos e filitos), enquanto a UH de PA apresenta no geral baixa declividade média (Figura 33). Já a sinuosidade (SINU) do trecho do riacho foi menor na UH de PA (méd. = 0.79°) do que as demais UH (méd. aproximada = 1.21°; Figura 35), situação dissimilar ao observado para a sinuosidade geral dos riachos (Figura 31). A piscina residual foi maior nas UH de PA (méd. = 28.98 cm) e TM (méd. = 27.80 cm), e menor na UH de NP (méd. = 15.21 cm).

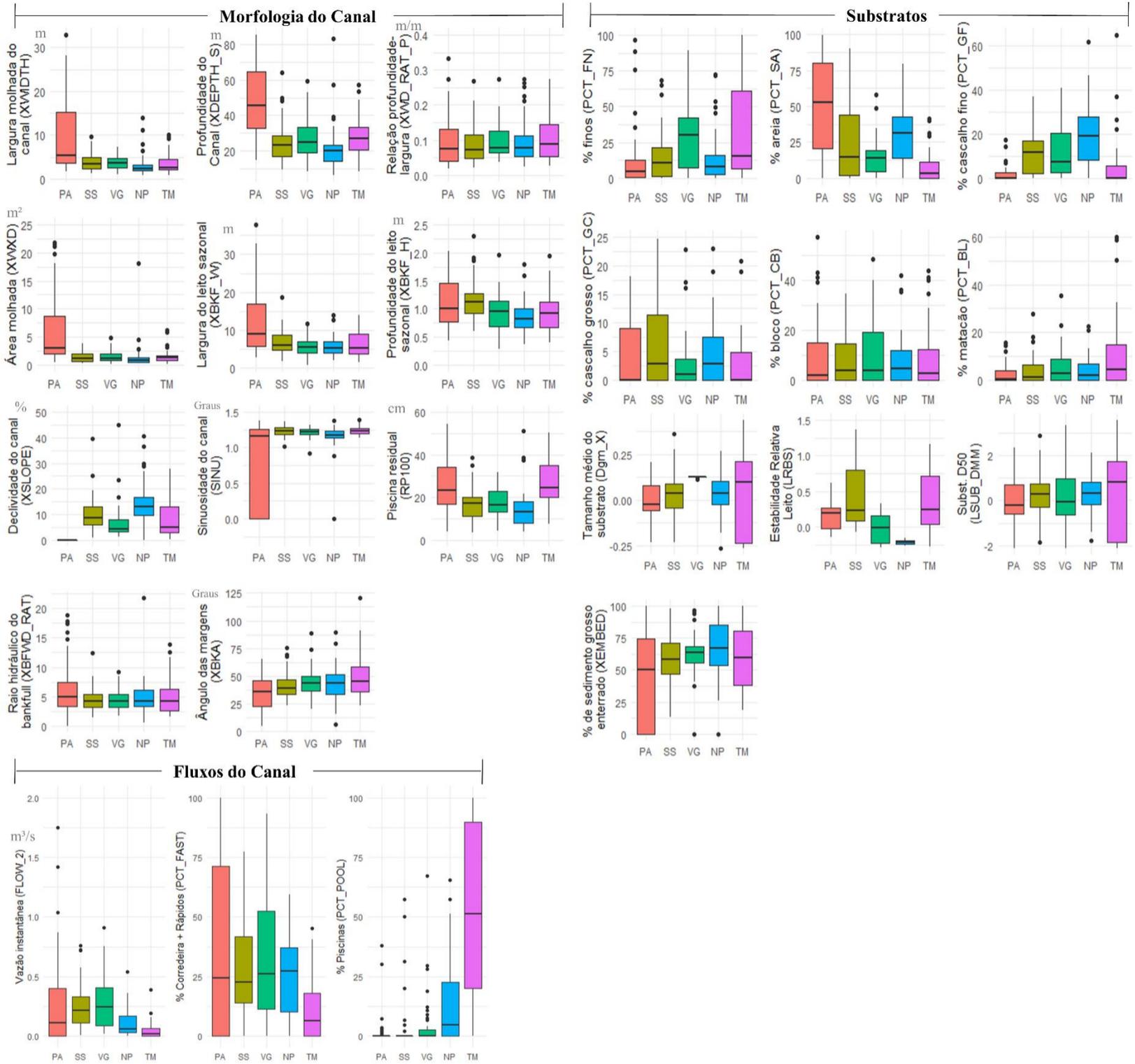
As métricas de substratos dos habitats físicos de riachos (HFR) amostrados a partir de trechos apresentou valores com maior porcentagem de sedimentos finos para as UH de TM (méd. = 33.25%) e de Volta Grande (VG; méd. = 28.20%), enquanto baixas porcentagens foram observadas para as demais UH (Figura 35). A porcentagem de areia (*PCT_SA*), por outro lado, foi significativamente maior nos riachos da UH de PA (méd. = 50.6%) e com valores mais baixos para a UH de TM (méd. = 7.83%). A porcentagem de cascalhos finos foi pelos menos duas vezes maior do que os cascalhos grossos nos riachos das UH, exceto para PA, o qual apresentou relação inversa as demais UH (Figura 35).

Dentre os substratos mais grosseiros, a porcentagem de blocos foi maior nas UH de VG (méd. = 10.25%) e PA (méd. = 10.08%), do que nas demais UH, os quais apresentaram valores médios próximos, enquanto a maior porcentagem de matações foi observada na UH de TM (méd. = 11.59%), sendo quase quatro vezes maior do que a UH de PA (méd. = 2.59%), a menor dentre as UH (Figura 35). A porcentagem de sedimentos grossos enterrados nos trechos amostrados, em média, é maior nas UH de NP (méd. = 67.15%) e VG (méd. = 67.15%), e menor em PA (méd. = 45%; Figura 35).

O tamanho médio dos substratos foi maior e mais homogêneo na UH de VG (méd. = 0.12) do que as demais UH, enquanto o percentil do diâmetro do substrato apontou superioridade na UH de SS (méd. = 0.29) e NP (méd. = 0.27), enquanto a UH de VG apresentou valor médio inferior (méd. = 0.18; Figura 35), apesar da variabilidade não apresentar muita diferença entre as UH (Figura 35). O *log* do índice de estabilidade relativo do leito, o qual revela que os riachos da UH de NP maior estabilidade dos leitos, enquanto a UH de TM, SS e PA, de forma geral, apresentam a menor estabilidade (Figura 35).

Em relação aos fluxos dos riachos, foi identificado que a vazão é, em média, maior na UH de PA (0.92 m³/s), apesar de apresentar muita variabilidade de descarga, seguida da UH de SS (0.55 m³/s) do que nas demais UH, em destaque a UH de TM, por apresentar o menor valor (0.05 m³/s). A porcentagem de rápidos mais corredeiras foram maiores na UH de PA (méd. = 35.53%) e de UH de VG (méd. = 34%), apesar de ambas apresentarem uma variação muito grande (Figura 35), enquanto a UH de TM apresentou a menor porcentagem (méd. = 10.75). Por fim, a porcentagem média de piscinas foi substancialmente maior na UH de TM (méd. = 51.57%), chegando a ser dez vezes maior do que as UH de PA, SS e VG (méd. aproximada = 3.8%; Figura 35).

Figura 35. Métricas de habitats físicos de riachos por unidade hidrológica. O padrão de cores das unidades hidrológicas segue o padrão da figura 36.



4.4 Análise da Modelagem Ambiental

A filtragem realizada para selecionar as variáveis explicativas para os modelos das métricas de HFR resultaram em 28 variáveis aptas para o modelo geral de um total de 84. Já em relação as variáveis explicativas por região, de um total de 74, foram selecionadas: 24 variáveis para São Simão; 29 variáveis para Nova Ponte, sendo a variável área da bacia (A) mantida devido a importância da variável observada em outros estudos (FAUSTINI; KAUFMANN; HERLIHY, 2009; MOREL et al., 2020; WILKERSON et al., 2014); 20 variáveis em Volta Grande, nas quais foram mantidas o comprimento total das drenagens (Lt) e a A, pelo mesmo motivo anterior; 15 variáveis em Três Marias, sendo também mantido a A; e 14 variáveis em Pandeiros, e como ocorreu em Volta Grande, foi incluído Lt e A (Tabela 6). Mais detalhes sobre a seleção das variáveis ver apêndice I (Tabelas 9 a 1).

Tabela 6. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo geral e para os modelos explicativos por unidade hidrológica.

Geral	São Simão	Nova Ponte	Volta Grande	Três Marias	Pandeiros
Ord	Ord	Ord	Lt	L	Lt
Is	Is	La	A	Is	Is
A	A	Is	Kc	A	A
Ic	Kf	A	Kf	Kf	Kf
EPS	Dr	Kf	EPS	H	Dr
H	EPS	Dr	H	Icon	Gcp
Gcp	H	H	Gcp	HI	Icon
Rr	Gcp	Gcp	Icon	Ondulado	HI
Côncava	Rr	Rr	HI	Norte	Ressalto
Diverg_Conca	Icon	HI	Ondulado	Plano	Encosta
Plano	Plano	Côncava	Norte	Crista Secundária	Vale
Crista	Suav_Ond	Plan_Conca	Oeste	Encosta	Urbano
Ressalto	Sul	Ondulado	Crista	Escavado	Pastagem
Encosta	Crista	Norte	Ressalto	Pastagem	Ígneas
Sopé	Encosta	Leste	Crista Secundária	Agricultura	
Savana Parque	Sopé	Sul	Encosta		
Savana Florestada	Vale	Crista	Savana Florestada		
Pastagem	Savana Florestada	Ressalto	Pastagem		
Eucalipto	Savana Parque	Crista Secundária	Latossolo		
Cambissolo	Pastagem	Encosta	Arenitos		
Argissolo	Agricultura	Escavado			
Neossolo	Argissolo	Savana Florestada			
Gleissolo	Neossolo	Savana Florestada			
Areia/Argila	Ígneas	Pastagem			
Arenitos		Latossolo			
Ígneas		Cambissolo			
Folhelhos		Neossolo			
VG		Ígneas			
		Xistos/Filitos			

Em relação as variáveis repostas, a análise de distribuição estatística mostrou que a maior parte das variáveis de morfologia do canal apresentaram distribuição log-normal, enquanto a normalidade foi constatada na maior parte das variáveis de substratos e fluxos (Tabela 7). As variáveis respostas não normais foram normalizadas e inseridas nos modelos lineares generalizados apresentados a seguir.

Tabela 7. Distribuições estatísticas encontradas para cada variável resposta na perspectiva geral e por unidade hidrológica.

Tipo	Métrica	Distribuição					
		GERAL	São Simão	Nova Ponte	Volta Grande	Três Marias	Pandeiros
Morfologia do Canal	XWIDTH	log-normal	normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal
	XDEPTH_S	log-normal	log-normal	log-normal	gamma	gamma	weibull
	XWD_RAT_P	gamma	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal	log-normal
	XWXD	log-normal	gamma	log-normal	gamma	log-normal	log-normal
	XBKF_W	log-normal	log-normal	log-normal	weibull	log-normal	log-normal
	XBKF_H	log-normal	log-normal	log-normal	gamma	gamma	log-normal
	XSLOPE	normal	log-normal	normal	log-normal	gamma	-*
	SINU	normal	weibull	normal	weibull	log-normal	normal
	RP100	log-normal	gamma	log-normal	gamma	weibull	log-normal
	XBFWD_RAT	gamma	log-normal	log-normal	gamma	log-normal	weibull
Substratos	XBKA	normal	log-normal	normal	log-normal	log-normal	normal
	PCT_FN	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	PCT_SA	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	PCT_GF	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	PCT_GC	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	PCT_CB	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	PCT_BL	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	Dgm_X	normal	normal	normal	weibull	normal	normal
	LRBS	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	LSUB_DMM	normal	normal	normal	normal	normal	normal
Fluxos	XEMBED	normal	weibull	normal	normal	weibull	normal
	FLOW_2	normal	log-normal	normal	weibull	normal	normal
	PCT_FAST	normal	normal	normal	normal	normal	normal
	PCT_POOL	normal	normal	normal	normal	normal	normal

* Só havia valores 0, devido à baixa declividade dos canais na bacia.

Influência dos Parâmetros Morfométricos e dos aspectos da Paisagem sobre os habitats físicos de riachos

As métricas de morfologia do canal dos habitats físicos de riachos (HFR), nos modelos gerais, tiveram como variáveis explicativas importantes muitos parâmetros morfométricos (PM) da classe hipsométrica, como amplitude altimétrica (H) e a relação de relevo (Rr), além da área da bacia (A), um parâmetro da classe zonal, a área de captação (Tabela 8). Nesse sentido, a maior Rr , influenciou na menor largura molhada ($XWIDTH$), a profundidade ($XDEPTH_S$), área molhada ($XWXD$), raio hidráulico do *bankfull* ($XBFWD_RAT$) e piscina residual ($RP100$) nos riachos analisados (Tabela 8). Por outro lado, a H influenciou positivamente a $XWIDTH$, a $XWXD$ e a largura do leito sazonal ($XBKF_W$), exceto para a relação profundidade-largura (XWD_RAT_P), a qual diminui

com o aumento de *H*. Por sua vez, para a *A*, ora seu aumento também gerou aumento nas características de HFR, como na *XWXD* e na *XBKF_W*, ora seu aumento resultou em diminuição, como na *XWD_RAT_P* e nos ângulos das margens (*XBKA*).

Outras variáveis explicativas também foram importantes para a morfologia do canal dos HFR, como as formas de relevo, os litotipos e os pedotipos (Tabela 8). O aumento da forma do relevo ressalto, influenciou positivamente na *XDEPTH_S* e *XLOPE*, e negativamente o *XBFWD_RAT*. O litotipo gleissolo influenciou as métricas *XDEPTH_S*, *XBFWD_RAT* e a sinuosidade do canal (*SINU*), sendo que o aumento desse tipo de solos aumenta as primeiras duas métricas e diminui a última, respectivamente (Tabela 8). As vegetações savanas florestadas e savanas parque tiveram efeito positivo em duas métricas de HFR, a primeira tipologia vegetal influenciou no aumento da profundidade do leito sazonal (*XBK_H*) e a segunda impactou no aumento da piscina residual (*RP100*), respectivamente (Tabela 8).

Os modelos gerais para substratos dos HFR constataram somente três relações importantes relacionadas aos PM da classe zonal e linear, como a *A* influenciando positivamente no aumento da porcentagem de areia (*PCT_SA*) e na diminuição do sedimento grosso enterrado (*XEMBED*), enquanto o aumento da ordem do riacho (*Ord*) diminuiu o tamanho médio dos substratos (*Dgm_X*; Tabela 8). As formas de relevo se destacaram sobre a influência nos substratos, seguida de litotipos e pedotipos (Tabela 8), sendo que: a presença e aumento da feição côncava, aumenta a porcentagem de cascalhos finos (*PCT_GF*) e grossos (*PCT_GC*), o aumento da feição sopé da encosta diminui a porcentagem de matacão (*PCT_BL*), a *PCT_GF* e o *log* do tamanho do substrato - D50 (*LSUB_DMM*); o aumento da área de folhelho, rocha sedimentar, aumentou a porcentagem de sedimentos finos e diminuiu a porcentagem de areia; enquanto o aumento de área de rochas ígneas aumentou do *Dgm_X*; a presença e aumento de cambissolos diminuiu a *PCT_GF* e o aumento de neossolos aumentou a porcentagem de blocos (*PCT_CB*). Assim como para a morfologia do canal, poucas variáveis ambientais foram importantes, como a presença de eucaliptos, que influenciou positivamente na *PCT_BL* (Tabela 8).

As métricas de fluxo do canal dos HFR apresentaram relações importantes com dois PM (Tabela 8), como a extensão do percurso superficial (*EPS*) influenciando positivamente na porcentagem de corredeiras mais rápidas (*PCT_FAST*), e *Rr* também influenciando positivamente o aumento da porcentagem de piscinas (*PCT_POOL*). Além da *Rr*, as

informações de litotipo e pedotipo foram importantes para a *PCT_POOL*, pois o aumento da área de folhelhos e de cambissolos aumenta as piscinas do canal (Tabela 8). Por outro lado, a vazão instantânea (*FLOW_2*) não apresentou relação relevante com os PM, somente com a forma de relevo plano que, ao aumentar sua abrangência nas bacias hidrográficas dos riachos, também aumenta a *FLOW_2* (Tabela 8).

Influência dos Parâmetros Morfométricos e dos aspectos da Paisagem sobre os habitats físicos de riachos por unidades hidrológicas.

Em São Simão, particularmente, nota-se que muitas variáveis respostas de HFR não tiveram nenhuma variável explicativa importante (Tabela 8). Já para as métricas de HFR com variáveis explicativas importantes, destaca-se os PM de todas as classes e as formas de relevo (Tabela 8). Nesse sentido, o aumento do *Gcp* influenciou positivamente o aumento da *XBKF_H*, porém, resultou em diminuição da *XDEPTH_S* e da *RP100*. O aumento da densidade de rios (*Dr*) repercutiu na diminuição dos *XBKA*, já o aumento do índice de sinuosidade do canal (*Is*), no caso, canais mais meandantes, gerou diminuição na declividade do canal (*XSLOPE*; Tabela 8). A área da bacia (*A*) influenciou positivamente os aspectos da morfologia do canal (*XBKA*) e dos substratos (*PCT_GF* e *PCT_BL*). O aumento da forma de relevo de encostas influenciou as características morfológicas do canal e de substratos, como no aumento da *XWIDTH* e diminuição da *XEMBED*, já o aumento do relevo suave-ondulado resulta no aumento da *XBKF_W*, enquanto o aumento da área de vales diminui a *XDEPTH_S* e a *FLOW_2* (Tabela 8).

Na UH-NP os HFR de morfologia do canal e substratos tiveram as formas de relevo como as principais variáveis explicativas, podendo-se destacar as feições plano-côncavas, que o *feedback* positivo significou aumento da *XWIDTH*, da *XDEPTH_S*, da *XWXD*, da *RP100* e da *PCT_SA*, e diminuição para a *SINU* e a *XEMBED* (Tabela 8). Os PM das três classes apareceram de forma restrita nas métricas de morfologia do canal e substratos, como: o *Is* influenciando o aumento da *XDEPTH_S* e a *Ord* também aumentando a *XWXD* e *RP100* de acordo que o mesmo aumenta; a área apresentando *feedback* positivo sobre a *SINU* (Tabela 8). Já em relação as métricas de fluxo do canal dos HFR, nota-se a importância dos PM da classe zonal, pois a densidade de drenagem (*Dd*), enquanto aumenta, aumenta também a *PCT_POOL* e diminui a *PCT_FAST*, enquanto a área teve influência positiva sobre a *FLOW_2* (Tabela 8).

Os PM da classe hipsométrica e zonal foram muito importantes na relação com os HFR na UH-TM, com destaque e de forma muito particular, o índice de concavidade do canal

principal (*Icon*) esteve relacionada à grande parte das métricas de HFR. Na maior parte das vezes, o aumento do *Icon*, que significa valores de drenagens mais maduras para as mais jovens, diminui a *XWIDTH*, a *XBKF_W*, a *XSLOPE*, a *XBFWD_RAT*, a *SINU*, a *PCT_CB*, a *Dgm_X*, a *LRBS* e a *LSUB_DMM*, enquanto aumenta a *XWD_RAT_P*, a *PCT_FN* e a *XEMBED* (Tabela 8). Outra variável de parâmetros morfométrico importante foi a *A* para os HFR de fluxo do canal, visto que conjuntamente a integral hipsométrica (*HI*) teve influência positiva sobre o *FLOW_2*, enquanto esta variável sozinha teve importante relação com a *PCT_POOL* (Tabela 8). As formas de relevo também foram variáveis explicativas importantes na UH-TM, visto que a crista secundária teve *feedback* positivo relacionado a *XWIDTH*, a *XWXD* e ao *XBFWD_RAT*, enquanto é observado *feedback* negativo sobre o *XBKA* (Tabela 8).

Apesar de apresentar diferentes variáveis explicativas importantes sobre HFR e não haver um destaque para uma variável específica como na UH-TM, a UH-VG apresentou PM importantes em muitas relações de HFR e, em algumas situações, foram as únicas variáveis explicativas importantes (Tabela 8). Os PM da classe hipsométrica apresentaram influência com *feedback* positivo, no caso da *H*, como na relação com a *XBKF_W*, *XBFWD_RAT*, *LRBS*, *LSUB_DMM* e *FLOW_2*, e *feedbacks* negativos, em relação ao *Gcp* com a *XDEPTH_S*, a *XWXD*, a *RP100* e a *FLOW_2* (Tabela 8). O PM da classe linear só apareceu uma vez, na relação aumento-diminuição entre o comprimento total das drenagens (*Lt*) e a *XDEPTH_S* (Tabela 8). Os PM da classe zonal apareceram para três variáveis: na relação da positiva entre *A* e *XDEPTH_S* e *XWXD*, e negativa com a *LSUB_DMM*; na relação com *feedback* negativo do *Kf* com *XWXD* e *PCT_FAST*, e *feedback* positivo deste com *PCT_POOL*; e na extensão do percurso superficial (*EPS*) em relação aos substratos dos HFR, como com a relação de aumento-aumento com *PCT_FN* e aumento-diminuição a *XEMBED* (Tabela 8).

Outros destaques importantes na relação com os HFR na UH-VG foi a forma de relevo de encosta, influenciando negativamente na *XBKF_W*, *XBFWD_RAT* e *LRBS*, e a porcentagem de área da orientação das vertentes a Norte, tendo efeito de aumento-aumento para as métricas *XWIDTH*, *XBFWD_RAT* e *PCT_BL*, e relação aumento-diminuição para *XWD_RAT_P*. A importância da cobertura e uso da terra na relação com os HFR foi registrada sobremaneira na UH-VG, visto que quanto mais áreas de pastagem, maior é a *PCT_SA* e *PCT_GF*, e menor é a *XWD_RAT_P*, enquanto a cobertura de savana

florestada também estava associada a *feedback* negativo com a *XWD_RAT_P* e com o *XBKA*.

Diferentemente das demais UH, a UH-PA apresentou importantes relações entre os PM lineares e a morfologia dos riachos, como o *Lt* e o *Is*, em comparação aos PM da classe hipsométrica e zonal (Tabela 8). Por outro lado, os PM da classe hipsométrica, conjuntamente a PM da classe linear, se mostraram importantes na relação das métricas de substratos dos HFR. Além disso, as formas de relevo de resalto e vale, além da área urbana, também são destaques na relação com os HFR da UH-PA. Desse modo, ressalta-se que o *Lt* teve relação de *feedback* positivo com a *XWIDTH*, a *XBKF_W* e a *XBFWD_RAT*, e relação *feedback* negativo com a *XWD_RAT_P*, a *SINU* e a *XEMBED* (Tabela 8). Já o *Is*, quando houve aumento do valor dessa variável, aumentou a *XBKF_W*, a *XBKF_H* e a *PCT_SA* e diminuiu para a *PCT_GF* e a *PCT_BL* (Tabela 8). Outro destaque é para a variável *Gcp*, cujo aumento representou diminuição em uma série de métricas de HFR da morfologia do canal e dos substratos (*XWIDTH*, *XWXD*, *PCT_CB*, *PCT_BL*, *Dgm_X* e *LSUB_DMM*; Tabela 8).

A forma de relevo de resalto provocou diminuição em algumas métricas de HFR da morfologia do canal (*XWIDTH*, *XDEPTH_S* e *XWXD*) e do substrato (*PCT_BL*) quando sua área na bacia aumentava na UH-PA, em exceção da *XEMBED* que diminui com aumento da variável em questão (Tabela 8). O vale também influenciou a morfologia dos canais e, o aumento percentual da área dos vales, aumenta a *XWD_RAT_P*, *XBKA* e *SINU*, mas diminui a *XBKF_W* (Tabela 8). Por fim, destaca-se a influência da área urbana sobre as métricas HFR, sendo que quanto as métricas de morfologia do canal, a área urbana apresentou *feedback* positivo para *XBKF_H* e *RPI00*, enquanto houve *feedback* negativo para *XBFWD_RAT* (Tabela 8). Já em relação aos substratos e fluxo do canal, o aumento da porcentagem de área urbana teve efeito positivos (Tabela 8).

Tabela 8. Resultado da modelagem geral e por unidade hidrológicas das métricas de habitats físicos e em função das variáveis da paisagem mais importantes. As siglas W+ é o parâmetro de pesos acumulados e o β é coeficiente da regressão das variáveis explicativas. As palavras ou siglas destacadas por cores correspondem a diferentes classes de parâmetros morfométricos, onde é: Verde, classe linear; Roxo, classe zonal; Vermelho, classe hipsométrica.

Habitats Físicos de Riacho	Geral			São Simão			Nova Ponte			Três Marias			Volta Grande			Pandeiros								
	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β						
Largura molhada do canal (<i>XWIDTH</i>)	<i>H</i>	0.68	0.0026	Encosta	0.57	12.18	Plano-Côncava	0.84	7.21	<i>ICon</i>	0.69	-0.006	Norte	0.55	1.37	<i>Lt</i>	0.66	0.0004						
	<i>Rr</i>	0.62	-0.71							<i>ICon</i>	0.67	6.61				Crista Secundária	0.67	6.61	<i>Gcp</i>	0.64	-0.19	Ressalto	0.51	-9.82
Profundidade do canal (<i>XDEPTH_S</i>)	<i>Rr</i>	0.98	-0.83	<i>Gcp</i>	0.96	-0.03	Plano-Côncava	0.86	6.08	Agricultura	0.55	5.57	<i>Gcp</i>	0.96	-0.038	Ressalto	0.70	-505.34						
	Gleissolo	0.91	4.9										<i>A</i>	0.74	0.074				<i>Lt</i>	0.7	-0.103			
	Ressalto	0.67	1.19										Vale	0.91	-7.06				<i>Is</i>	0.85	0.6	Norte	0.85	-14.95
Relação profundidade-largura (<i>XWD_RAT_P</i>)	<i>A</i>	0.94	-0.0006	-	-	-	-	-	-	<i>ICon</i>	0.98	0.02	Pastagem	0.74	-13.97	<i>A</i>	0.92	0.004						
	<i>H</i>	0.87	-0.007										Savana Florestada	0.64	-30.41	Vale	0.61	6.89						
	<i>Rr</i>	0.8	-1.33										<i>A</i>	0.89	0.014	<i>Gcp</i>	0.90	-0.32						
Área molhada (<i>XWXD</i>)	<i>A</i>	0.7	0.0003	-	-	-	Plano-Côncava	0.9	20	Crista Secundária	0.52	7.12	<i>Kf</i>	0.86	-0.4	Ressalto	0.82	-22.94						
	<i>H</i>	0.65	0.003										<i>Ord</i>	0.64	0.38	<i>Gcp</i>	0.79	-0.02						
	<i>A</i>	1	0.0002										<i>H</i>	0.97	0.011	Vale	0.97	-5.28						
Largura do leito sazonal (<i>XBKF_W</i>)	<i>H</i>	0.77	0.0017	-	-	-	-	-	-	<i>ICon</i>	0.77	-0.01	Encosta	0.5	-6.9	<i>Is</i>	0.87	0.55						
	Folhelho	0.63	-0.26										<i>Lt</i>	0.6	0.0004									
Profundidade do leito sazonal (<i>XBKF_H</i>)	Plano	0.85	15.17	Suave-Ondulado	0.78	2	-	-	-	Ondulado	0.7	0.93	-	-	-	-	-	<i>Is</i>	0.78	1.15				
	Savana Florestada	0.81	13.89	<i>Gcp</i>	0.51	0.018															Urbano	0.53	616.7	
Ângulo das margens (<i>XBKA</i>)	<i>A</i>	0.95	-0.002	<i>Dr</i>	0.87	0.21	-	-	-	Crista Secundária	0.96	-3.09	Savana Florestada	0.72	-4.03	Vale	0.77	303.45						
										<i>Kf</i>	0.83	-0.07												
Declividade do canal (<i>XSLOPE</i>)	Ressalto	0.99	0.45	<i>Is</i>	0.58	-2.54	<i>Gcp</i>	0.99	0.05	<i>ICon</i>	0.77	-0.05	-	-	-	-	-							
	Sopé	0.99	-1.02				<i>HI</i>	0.86	-33.08															
	Côncava	0.67	0.41				Sul	0.67	32.89															
Raio hidráulico do <i>bankfull</i> (<i>XBFW_RAT</i>)	<i>Rr</i>	0.97	-0.38	-	-	-	Escavado	0.51	10.52	<i>ICon</i>	0.92	-0.009	Encosta	0.87	-15	<i>Lt</i>	0.88	0.04						
	Gleissolo	0.71	1.95										<i>H</i>	0.7	0.01	Urbano	0.72	-3591.9						
	Ressalto	0.56	-0.84										Crista Secundária	0.72	4.19	Norte	0.64	4.02	<i>A</i>	0.65	-0.02			
Sinuosidade do canal (<i>SINU</i>)	<i>A</i>	1	-0.0003	-	-	-	Plano-Côncava	1	-9.24	<i>ICon</i>	0.93	-0.002	-	-	-	<i>Lt</i>	0.77	-0.007						
	Plano	1	-1																<i>A</i>	0.57	0.0005	<i>A</i>	0.63	0.003
	Gleissolo	0.63	-1.87																Encosta	0.51	-0.27	Vale	0.57	8.34
Piscina residual (<i>RP100</i>)	<i>Rr</i>	0.94	-1.81	<i>Gcp</i>	0.74	-0.12	Plano-Côncava	0.79	8.6	Agricultura	0.67	132.63	<i>Gcp</i>	0.94	-0.29	Urbano	0.91	23195.7						
	Savana Parque	0.67	1.08																<i>Ord</i>	0.59	0.19			

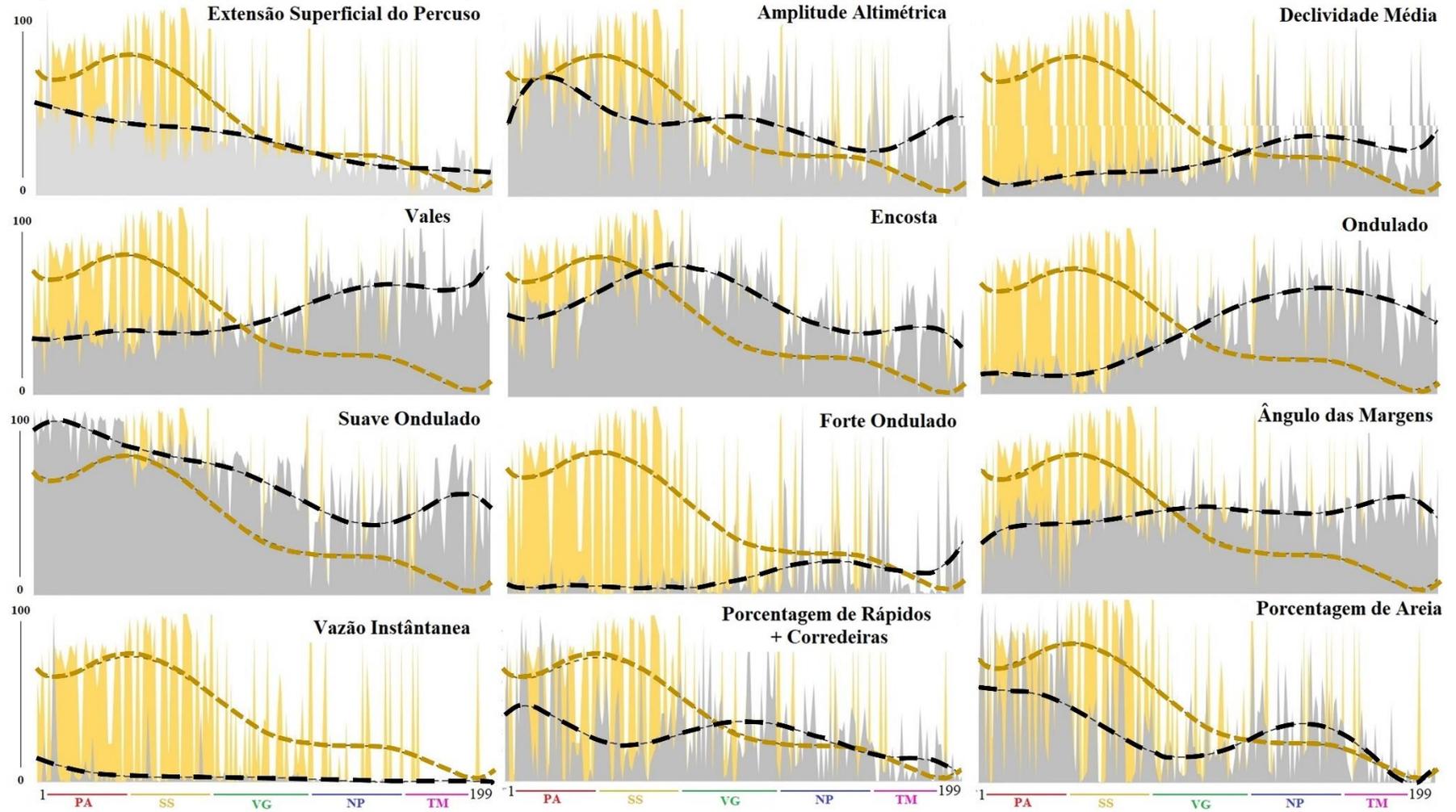
Morfologia do Canal

Continuação da Tabela 8...

	Habitats Físicos de Riacho			Geral			São Simão			Nova Ponte			Três Marias			Volta Grande			Pandeiros		
	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β	Parâmetros	W+	β			
Substratos	% finos (PCT_FN)	Folhelho	0.96	0.29	Argissolo	0.55	65.9	-	-	ICon	0.77	0.77	EPS	0.56	54.59	Urbano	0.61	26470.8			
	% areia (PCT_SA)	A	0.99	0.01	-	-	-	Plano-Côncava	0.65	672.83	-	-	-	Pastagem	0.79	57.95	Is	0.98	69.04		
		Folhelho	0.95	-0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HI	0.78	153.27		
	% cascalho fino (PCT_GF)	Côncava	1	1.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Sopé	0.70	-1.14	A	0.6	0.25	Crista-Secundária	0.59	-143.3	Encosta	0.61	-48.96	Pastagem	0.53	42.77	Urbano	0.98	6139.31		
	% cascalho grosso (PCT_GC)	Cambissolo	0.60	-0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Is	0.57	-5.73		
		Côncava	0.95	0.7	-	-	-	Savana Florestada	0.73	-60.66	-	-	-	-	-	-	Encosta	0.58	33.42		
	% bloco (PCT_CB)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pastagem	0.85	-30.42		
		Neossolo	0.89	0.1	Ígneas	0.53	8.97	-	-	-	Norte ICon	0.92	-71.24	-	-	-	-	-	-		
	% matacão (PCT_BL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Eucalipto	0.98	0.45	A	0.55	0.09	Savana Florestada	0.76	57.63	Plano	0.52	280.85	Norte	0.89	31.81	Is	0.9	-12.1		
	% de sedimento grosso enterrado (XEMBED)	Sopé	0.70	-0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Gcp	0.63	-2.11		
A		1	-0.018	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ressalto	0.55	-91.14			
Tamanho médio do substrato (Dgm_X)	Divergente-Côncava	0.80	-3.91	Encosta	0.57	-124.36	Plano-Côncava	0.9	-518.8	ICon	0.98	0.91	EPS	0.71	-56.13	Lt	0.64	-0.26			
	Crista	0.53	1.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Urbano	0.62	30596			
Log10 Estabilidade Relativa Leito (LRBS)	Sopé	0.88	-2.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	0.61	683.46			
	Folhelhos	0.69	-0.11	-	-	-	-	-	-	ICon	0.99	-0.008	-	-	-	Gcp	0.59	-0.06			
Log10 Subst. D50 (LSUB_DMM)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pastagem	0.61	-0.23			
	-	-	-	-	-	-	Côncava	0.51	16.66	-	-	-	H	0.95	0.009	-	-	-			
Vazão instantânea (FLOW_2)	-	-	-	-	-	-	Dr	0.5	-0.65	ICon	0.98	-0.045	Encosta	0.86	-11.29	-	-	-			
	Sopé	0.62	-0.087	-	-	-	-	-	-	ICon	0.99	-0.057	H	0.96	0.017	-	-	-			
% Corredeira + Rápidos (PCT_FAST)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A	0.56	-0.02	Gcp	0.66	-0.5			
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ressalto	0.52	25.28	-	-	-			
Fluxo do Canal	Plano	0.76	0.038	Is	0.68	4.41	A	1	0.015	A	0.99	0.001	Gcp	0.97	-0.02	Urbano	0.52	2213.42			
	-	-	-	Vale	0.59	-32.79	-	-	-	HI	0.83	0.21	H	0.91	0.004	-	-	-			
	EPS	0.56	17.3	-	-	-	Dr	0.55	-11.75	HI	0.72	48.85	Kf	0.72	-18.64	-	-	-			
% Piscinas (PCT_POOL)	Folhelho	0.99	0.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ressalto	0.84	124.04			
	Cambissolo	0.96	0.29	-	-	-	Dr	0.71	8.91	A	0.67	-0.32	Ondulado	0.77	54.32	-	-	-			
	Rr	0.89	38.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kf	0.66	8.59	-	-	-			

Outro importante resultado encontrado foi a evidência do controle morfoestrutural dos arenitos sobre algumas das variáveis ambientais em análise (Figura 36). A presença de arenitos a montante dos riachos, em sua maioria nas UH de PA e SS (Figura 34), mostram uma tendência sobre a menor presença de vales em detrimento de encostas, além de apresentar maior extensão superficial do percurso d'água precipitada ao chegar a um curso de água perene (Figura 36). Não obstante, os relevos com inclinação suave onduladas são marcantes em áreas de arenitos, em detrimento de relevos ondulados e forte ondulados que são mais presentes em outras UH que possuem outros litotipos (Figura 36). Dentre as características e dinâmica dos riachos associados ao arenito, pode-se observar o ângulo das margens com menor inclinação sobre arenitos, maior porcentagem da fração areia nos leitos, maior vazão instantânea e menor porcentagem de rápidos mais corredeiras (Figura 36).

Figura 36. Representações gráficas de tendências de variáveis que são influenciadas pela presença de arenitos. Os eixos y diz a respeito à porcentagem de arenitos nas bacias hidrográficas representada em amarelo (linha de tendência polinomial e área sub a curva) e as variáveis apresentadas na escala de captação e de HFR foram normalizadas entre 0 a 100 para ser apresentada no gráfico em cor cinza e preto. O eixo x diz a respeito de cada riacho amostrado (1 a 199), dividido por cores pelas cinco regiões em cores específicas, Pandeiros – PA (laranja), São Simão – SS (amarelo), Volta Grande – VG (verde), Nova Ponte – NP (roxo) e Três Marias – TM (rosa).



5 DISCUSSÃO

Ao encontro das questões propostas para o desenvolvimento da presente dissertação, pode-se dizer que os resultados encontrados mostram de forma consistente a influência dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas (PM) sobre as características de habitats físicos de riachos (HFR) avaliadas (Questão 1), permitindo o uso dessas variáveis geomorfológicas na escala de captação para estudos da configuração dos HFR no Cerrado e recomendado também para outras regiões.

A maior importância dos parâmetros morfométricos em relação aos demais aspectos da paisagem para os HFR (Questão 2) não pode ser respondida de forma simples, pois o contexto complexo apresentado pelos resultados leva a necessidade de realizar apontamentos a partir dos diferentes conjuntos de métricas de HFR avaliadas e a partir das diferentes UH, visto que: em relação a morfologia do canal, tanto em todos os riachos avaliados no Cerrado, quanto os riachos por UH, os PM foram tão importantes quanto as formas de relevo; os substratos foram mais relacionados as formas de relevo e aos litotipos/pedotipos do que os PM no contexto geral, apesar de os PM apresentarem maior importância nas UH de Três Marias, Volta Grande e Pandeiros; já os fluxos do canal, o contexto geral mostra que os PM e as formas de relevo são os mais importantes para os HFR, apesar de que na UH de Pandeiros somente o uso da terra foi importante.

Em relação as diferenças entre o contexto geral (avaliação de todos os riachos) e as partes (avaliação dos riachos por UH), os resultados encontrados apontam que, em ambas as situações, os PM e as formas de relevo influenciaram consideravelmente os HFR, apesar de as variáveis explicativas mais importantes nos modelos gerais não serem as mesmas encontradas nos modelos por UH. No entanto, exceto a essa situação que aponta similaridade, ressalta-se que os modelos de HFR por UH apresentou significativas diferenças de variáveis explicativas pertinentes e, portanto, as particularidades devem ser consideradas em virtude das características intrínsecas da paisagem de cada UH (Questão 3).

A seguir é discutido as relações mais importantes encontradas na pesquisa em detrimento de apontamentos de outras investigações, as particularidades das relações encontradas nas UH e a importância dos resultados para o gerenciamento de recursos hídricos nas UH do Cerrado.

5.1 A relação dos Parâmetros Morfométricos e dos Aspectos da Paisagem com os Hábitats Físicos de Riachos nos riachos do Cerrado.

A influência dos parâmetros morfométricos (PM) das classes hipsométrica e zonal para a morfologia do canal dos habitats físicos de riachos (HFR), como a amplitude altimétrica (H) e relação do relevo (Rr), além da área da bacia (A), foram importantes para o tamanho, profundidade, raio e ângulos dos canais e dos leitos sazonais dos riachos, características consideradas pertinentes por ecólogos de riachos (WANG et al., 2013). Os *feedbacks* positivo da H e negativo da Rr sobre as medidas dos leitos conferem uma relação da energia das bacias hidrográficas (STRAHLER, 1952b) com a estrutura dos riachos avaliados.

Em áreas protegidas no bioma Amazônico no Brasil, outra variável correlata foi utilizada, a declividade média da bacia, que também se refere a energia da bacia (CHEREM et al., 2008), a influência na taxa de transporte de sedimentos e a tensão de cisalhamento (GRABOWSKI, 2014), foi o principal fator de heterogeneidade espacial dos HFR, conjuntamente à altitude dos HFR apontados por Benone et al. (2017). Já em riachos no bioma Mata Atlântica, à noroeste do estado de São Paulo, a declividade média teve baixa influência sobre os HFR, sendo apontado a homogeneidade geomorfológica regional como o motivo principal por Molina et al. (2017).

O aumento da área da bacia hidrográfica, ou área de captação, dos riachos avaliados influenciou no aumento da área molhada e na largura do leito sazonal, como esperado, visto que em outras investigações os resultados corroboram e apontam a importância da relação da área de captação sobre largura molhada do canal dos riachos (BIEGER et al., 2016; FAUSTINI; KAUFMANN; HERLIHY, 2009; MOREL et al., 2020; WILKERSON et al., 2014), chegando a explicar sozinha 54% da variabilidade encontrada (RAWLINS et al., 2014).

Por outro lado, a área de captação foi pertinente para a largura da margem em diferentes regiões nos Estados Unidos, apesar de não ter sido capaz de prever tal característica do relevo sozinha, devido a outros fatores estruturantes da paisagem como apontado por Wilkerson et al. (2014), assim como no presente estudo (Tabela 8). A área de captação é uma variável chave na variação da composição de assembleias de vertebrados em sistemas lóticos e na estrutura dos habitats de riachos (KAUFMANN; HUGUES, 2006; LEOPOLD et al., 1964).

As formas de relevo também tiveram um papel importante para a compreensão da morfologia do canal e, em situações específicas, com os litotipos e com a cobertura vegetal, corroborando com a premissa de que a configuração dos HFR é complexa, respondendo a diferentes fatores ambientais como apontado por Bieger et al. (2016) Frissell et al. (1986) e Wilkerson et al. (2014). Da mesma forma que os PM, as formas de relevo refletem dinâmicas de escoamento/dispersão d'água, processos de deposição e agradiação de sedimentos (MACMILLAN; SHARY, 2009), além de apontar para bacias hidrográficas com maior dissecação (mais cristas secundárias), maior energia (mais encostas) e com menor energia (mais vales), o que reafirma a relevância dos atributos geomorfológicos e de processos hidrológicos para entendimento da morfologia do canal dos HFR na área de estudo.

Não obstante, já foi percebido que as encostas influenciam os amortecedores ribeirinhos e foram considerados em políticas de proteção de riachos (Waters 1995). Além disso, relevos com inclinações suaves beneficiam a capacidade trófica de riachos para comunidades de peixes até um certo limite, em detrimento da carga de sedimentos que podem superar os benefícios (FRIMPONG et al., 2005). Desse modo, os resultados encontrados sobre a relação das formas de relevo e da configuração dos HFR estudados podem beneficiar políticas de proteção de riachos no Cerrado.

A diversidade de variáveis explicativas importantes na relação com os substratos torna essas características dos HFR difíceis de se generalizar, como é esperado para uma análise em diferentes regiões. No entanto, os fatores estruturais da paisagem foram recorrentes na relação de todos os substratos analisados, como a forma de relevo, parâmetros morfométricos, litotipos e pedotipos, sendo consideradas aspectos da paisagem que influenciam as características dos substratos em outras áreas de estudo (BENONE et al., 2017; MAC NALLY; WALLIS; LAKE, 2011). Por exemplo, os sedimentos finos depositados em riachos na Dinamarca, é determinado pela variação dos pedotipos, litotipos, hidrologia e, também, por atividades antrópicas (PEDERSEN; FRIBERG; LARSEN, 2004). A inviabilidade de explicar os substratos por uma variável específica em riachos avaliados em diferentes regiões também foi observada em outros estudos (JEFFERS et al., 1998; LEAL et al., 2016) e os resultados encontrados reafirmam essa evidência.

Diferentes estudos apontaram que os fluxos rápidos d'água nos riachos estão intimamente ligados a altitude e inclinação (BENONE et al., 2017; GRABOWSKI, 2014) e a vazão

instantânea, não é diferente, sendo registrado importantes contribuições de parâmetros morfométricos (FERNANDEZ, 2020; TUNAS; ANWAR; LASMINTO, 2017). Apesar da presente pesquisa corroborar com tais pesquisas, um viés é observado sobre a vazão instantânea, uma vez que os maiores valores de vazão foram observados nos riachos de Pandeiros, que apesar de ser a região mais seca dentre as UH (Figura 34), é onde estão as maiores bacias e os relevos mais planos em comparação as demais Unidades Hidrológicas.

Outro importante fator sobre a vazão é o controle estrutural evidenciado na pesquisa (Figura 36), pois compreende-se que os arenitos e a alta conservação vegetal que predominam na UH de Pandeiros resultam em uma alta capacidade de áreas de recarga d'água subterrânea (ALVARES TENENWURCEL et al., 2020), o que pode justificar o maior volume d'água saindo do sistema em época de estiagem (período de levantamento de campo das métricas de HFR deste estudo) devido a regularização da água condicionada por essa configuração da paisagem.

5.2 Importantes relações dos Parâmetros Morfométricos e Aspectos da Paisagem com os Hábitats Físicos de Riachos nas Unidades Hidrológicas.

Ao analisar de forma comparativa as características da paisagem das Unidades Hidrológicas (UH) foi possível identificar um padrão ambiental advindo do controle morfoestrutural provenientes dos arenitos do Grupo Bambuí na UH de Pandeiros (RADAMBRASIL, 1982) e das formações Marília e Vale do Rio do Peixe na UH de São Simão (FÚLFARO; BARCELOS, 1991), em detrimento dos demais litotipos encontrados majoritariamente nas demais UH.

Não obstante, mesmo com as diferenças intrínsecas de cada UH (p. e. precipitação, altitude, temperatura, geologia, uso da terra etc.), os riachos sobre arenitos conferiram: um ângulo menor das margens, podendo ser consequência da instabilidade das margens dos riachos com carga de leito composta, principalmente, por areia quartzosa derivada da denudação física do arenito e uma maior vazão por motivos já ressaltados no tópico anterior. Apesar dos resultados está consonante aos achados de Pedersen et al. (2004) na Dinamarca, os quais relatam altas velocidades de corrente e alta vazão em áreas com estruturas arenosas e com coberturas naturais, as tendências encontradas no presente estudo carecem de aprofundamento.

As características litoestruturais, como os substratos rochosos, condicionam as configurações dos HFR e, assim, a estrutura e a distribuição de espécies em riachos (ALLAN, 2004; MACEDO et al., 2014a). Apesar de que na escala de captação os litotipos geralmente só foram observados como importantes, como apontado por Miles (2020), importante para parte das características de riachos, como na presente pesquisa. Os litotipos não apareceram como pertinentes para a maior parte das relações com a configuração dos habitats físicos de riachos (HFR) considerando as UH, somente em raras exceções, como de forma direta em São Simão e indiretamente para as demais UH. Essas exceções indicam que a relação entre os usos antrópicos e as coberturas vegetais combinadas ao litotipo/pedotipo, podem explicar a configuração dos substratos nos riachos avaliados.

Os parâmetros morfométricos foram as variáveis mais pertinentes para explicar a morfologia, os substratos e os fluxos dos riachos nas diferentes UH, reforçando o conhecimento de que a geomorfologia na escala de captação fornece importantes informações sobre a configuração dos HFR, assim como visto em Brenden et al. (2007) e Wang et al. (2013). Isso mostra que as referidas variáveis geomorfológicas devem ser consideradas por ecólogos de rios, mesmo em diferentes regiões, uma vez que no presente estudo tais variáveis foram relevantes na escala de captação em diferentes UH que possuem aspectos da paisagem intrínsecas a elas, a mesma recomendação é feita por Davies et al. (2000).

Informações sobre o canal principal foram relevantes para os riachos das UH avaliadas, diferentemente ao constatado para os modelos gerais, em destaque o gradiente do canal (G_{cp}) e o índice de concavidade (IC_{con}) para a morfologia do canal, o que mostra a relevância da dinâmica de riachos mais maduros, transientes e jovens (MUDD et al., 2018; Cherem et al., 2020) e da energia do canal principal sobre a estrutura dos riachos nas UH estudadas. Investigações sobre a configuração de HFR utilizaram a declividade do canal principal, uma variável correlata, em vez dos PM supracitados, e notaram que a mesma foi importante para a qualidade dos habitats na Dinamarca (PEDERSEN; FRIBERG; LARSEN, 2004), para entender a profundidade média dos riachos na Nova Zelândia e na França (Morel, et al., 2020) e teve importância relativa para predizer a largura das margens, a profundidade e a área da seção em diferentes regiões dos Estados Unidos (BIEGER et al., 2016).

A relativa importância dos parâmetros morfométricos referentes ao canal principal supracitados para os HFR nas diferentes regiões avaliadas também é constatada por UH, pois enquanto em Nova Ponte o *Gcp* foi relacionado somente a um aspecto da morfológica do canal, em Três Marias o *ICon* foi relacionado a outras seis variáveis morfológicas e a outras seis de substratos. A influência desigual é esperada ao analisar as diferentes regiões, visto que características intrínsecas, como salientado anteriormente, podem promover outros fatores influentes.

Destaca-se que mesmo nas UH de Pandeiros e Três Marias apresentarem mais dissimilaridades ambientais (p. e. precipitação, temperatura, pedotipos, formas de relevo, energia das bacias, sistema de drenagem etc.) do que similaridades (litotipos, tamanha médio das bacias, alto potencial hídrico, sinuosidade e cobertura da terra), informações acerca do canal principal foi um importante fator de configuração dos substratos. Investigações mais aprofundadas acerca das similaridades paisagísticas entre as UH, as características dos sistemas de drenagem e o comportamento dos substratos são necessárias para identificar o elo entre esses sistemas ambientais.

Outra importante informação para ecólogos de riachos, a estabilidade relativa do leito (KAUFMANN et al., 2008), foi relacionado a três UH (Nova Ponte, Três Marias e Volta Grande), onde os aspectos e processos geomorfológicos foram as únicas variáveis influentes, mesmo com alta fragilidade ambiental apresentada nessas regiões devido, principalmente, as atividades antrópicas (MACEDO et al., 2018). O aporte hidráulico dos riachos, a energia da bacia e do canal principal, além das formas de relevo, foram os aspectos importantes para a estabilidade do leito, sendo respaldado no conhecimento do condicionamento hidráulico sobre o comportamento dos substratos (CAMPELL; KUMAR; JOHNSON, 1972) e por estudos que observaram relações semelhantes como por Kaufmann et al. (2008) e Rowe et al. (2009).

Por outro lado, os riachos das UH de Pandeiros e São Simão mostraram ausência de variáveis explicativas importantes para a estabilidade relativa do leito, sendo que essas UH estão sobre arenitos, baixa densidade de drenagem e de rios, e bacias com baixa energia, diferentemente das demais UH supracitadas. Supõe-se que, a partir dessas características ambientais, outros fatores em outras escalas espaço-temporais podem estar controlando a estabilidade do leito nessas duas UH.

A resposta dos fluxos dos canais nos riachos das UH foram como esperados, visto que respondeu a energia gerada pelas drenagens e pelo relevo da bacia, além do potencial hidráulico, como observado por Benone et al. (2017), Grabowski (2014), Fernandez (2020) e Tunas; Anwar; Lasminto (2017). Essas informações são importantes para a qualidade dos habitats de riachos, pois os fluxos são responsáveis por carregar o excesso de sedimentos finos que afetam as comunidades de macroinvertebrados (PEDERSEN; FRIBERG; LARSEN, 2004).

Em exceção, os riachos na UH de Pandeiros, somente a presença de área urbana foi relacionada ao aumento da vazão. Essa relação é compreensível, visto que essa região é a mais conservada entre todas as UH e qualquer alteração brusca na paisagem, como o processo de antropização, pode modificar fluxo d'água e causar prejuízos aos HFR (BEAVAN; SADLER; PINDER, 2001; BOOKER; DUNBAR, 2004; HARREMOES et al., 1996). Aliás, a presença da área urbana foi relevante em diversas características de HFR na UH de Pandeiros, o que reforça a evidência do impacto das atividades antrópicas nos riachos da referida região.

Apesar de não ter demonstrado muita importância quanto as outras variáveis na escala da paisagem, o uso e cobertura da terra é o componente ambiental mais utilizado em análises onde se busca entender a configuração dos HFR na escala da paisagem (MILES, 2020), justificado pela marcante alteração nos fluxos, na morfologia do canal e na entrada de substratos que as atividades antropogênicas causam aos riachos (ALLAN et al., 2004; NEILL et al., 2013). As relações entre uso e cobertura da terra e os HFR podem se apresentar de forma complexa, como é o presente caso, primeiro porque foi o conjunto de variáveis ambientais menos relacionados aos HFR no presente estudo, segundo porque em todas as UH o uso e cobertura da terra predominante não influenciou nenhuma métrica de HFR.

Por exemplo, na UH de Pandeiros que é uma área de proteção ambiental (APA) onde predomina vegetações savanas e pastagem, as poucas áreas urbanas constatadas nas bacias resultaram em influências em seis métricas de HFR e, esta evidência, é corroborada pelo estudo de Martins et al. (2020), que constatam considerável sensibilidade dos ecossistemas de riachos a pressões antrópicas locais em Pandeiros. A montante dos riachos da UH de São Simão, a natural susceptibilidade dos argissolos a erosão, por apresentar alta relação textural, conjuntamente com o predominante uso agrícola, pode explicar a maior presença de sedimentos finos, sendo que Macedo et al. (2018) já haviam

constatado alta fragilidade ambiental nessa mesma região. A relação positiva dos blocos com a rocha ígnea, dacitos, na mesma UH, pode estar ligado a resistência dos substratos ao intemperismo em comparação aos arenitos, também presentes em São Simão.

Na UH de Volta Grande, apesar predomínio da agricultura, a esparsa presença de pastagem pode estar associada a baixa ocorrência de arenitos das formações Uberaba, Itaqueri, Botucatu e Vale do Rio do Peixe (BATEZELLI, 2003), influenciando positivamente o contingente de areia e cascalhos finos nos riachos. Outra relação abstrata foi na UH de Nova Ponte, pois as vegetações savanas influenciaram os sedimentos mais grosseiros (cascalho e matacões) na UH, sendo que essa vegetação se encontra nas áreas de relevo mais movimentadas sobre filitos (MACEDO et al., 2014a), o que pode estar ligado ao processo de fragmentação dessa rocha.

Essas relações entre os usos e cobertura da terra com os litotipos/pedotipos, as quais devem ser melhor aprofundadas devido a associação a efeitos secundários, sugerem que a pouca presença de um certo do uso terra ou presença de cobertura vegetal pode modificar consideravelmente as características dos riachos, tornando-a relevante nos modelos explicativos de algumas características de HFR para as regiões em estudo.

Os resultados mostram a impossibilidade de relacionar todas as características de HFR a, ao menos, uma variável explicativa, sendo essa ausência de relações conferida principalmente nas relações das diferentes UH (Tabela 8). Nesse sentido, embora se tenha utilizado de uma abordagem holística, considerado diversos componentes da paisagem, foi adotado a escala de captação para avaliação dos HFR devido à natureza das análises de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas e de drenagem, e outras investigações apontam que os HFR também são explicados a partir de outras escalas espaciais, como zonas ripárias, zonas próximas a fonte, dentre outras (BENONE et al., 2017; GRABOWSKI et al., 2014; LECOURE et al., 2015; ROWE et al. 2009; WANG et al., 2013). Além disso, a escala temporal pode ser outro fator não abordado na presente pesquisa com potencial de controlar a variabilidade das características físicas dos HFR, como os efeitos legados do uso e cobertura da terra (ALLAN et al., 2004; LEAL et al., 2016).

5.3 A importância da escala de captação para o gerenciamento de riachos do Cerrado.

A investigação realizada demonstrou que as variáveis explicativas analisadas na escala de captação dos riachos resultaram em importantes relações com as configurações de hábitat físicos de riachos no Cerrado, principalmente, as variáveis de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas e as formas de relevo. E apesar da ausência de relações de algumas métricas de hábitats físicos de riachos com as variáveis explicativas serem registradas, ainda assim, muitas relações relevantes foram evidenciadas e que são importantes para ecológicos de riachos.

Por outro lado, entende-se que muitas relações se projetam em escalas mais próximas ao leito dos riachos como mostrado por Allan (2004), Leal et al. (2017) e Benone et al. (2017), mas, em uma perspectiva de gestão regional, o presente estudo pode auxiliar políticas públicas de âmbito socioambiental e superar as lacunas de escalas subjacentes na proteção de hábitats lóticos (WANG et al., 2013). A perspectiva regional é importante de ser considerada, visto que pode discernir regiões que apresentam ecossistemas estáveis, controlada pela topografia, aspectos climáticos e diferentes matrizes de uso e cobertura da terra (MADDOCK, 1999).

Não obstante, a bacia hidrográfica é uma unidade da paisagem importante para o planejamento e gestão ambiental (Miles, 2020), apesar de ser um sistema aberto, apresenta processos coesos. Nessa unidade espacial Macedo et al. (2018) propuseram um índice de fragilidade dos riachos nas UH avaliadas (exceto para Pandeiros) que auxiliam atualmente companhias de gerenciamento de recursos hídricos na tomada de decisão para proteção dos riachos.

Diferentes investigações corroboram com a abordagem teórica-metodológica utilizada, pois vêm apontando que a configuração dos hábitats físicos de riachos pode ser entendida a partir a escala de captação, viabilizada por dados gerados por SIG (AMES et al., 2009; MOREL et al., 2020; NAURA et a., 2016). Por exemplo, informações geradas a partir de SIG foram úteis para prever muitas características de hábitat de riachos no Reino Unido sem levantamento de informações adicionais e são recomendadas para gerenciamento de recursos hídricos (JEFFERS, 1998). O desenvolvimento das tecnologias espaciais e da ciência de dados vem auxiliando na promoção das informações de hábitats físicos na escala de captação e, além disso, trata-se de uma abordagem de baixo custo (MILES, 2020).

O avanço tecnológico em SIG e em Sensoriamento Remoto tem promovido avanços consideráveis para estudos em hábitat físicos de riachos, como o uso de LIDAR e VANT na identificação das estruturas do trecho do riacho a ser avaliados como apontado por Hall et al. (2009) e Klein Hentz et al. (2018), recentes possibilidades de criação de Modelos Digitais de Elevação com média-alta resolução de forma gratuita a partir das imagens do Sentinel-I, que pode auxiliar em investigações na escala de captação com mais precisão (BRAUN, 2021) e imagens de satélites históricas e recentes de alta precisão disponíveis pela empresa *Google*.

Nessa perspectiva, a presente pesquisa foi capaz de evidenciar importantes relações entre as variáveis produzidas em SIG e os hábitats físicos de riachos, além de o estudo ter sido conduzido de forma econômica. Assim, políticas ambientais e investigações no Cerrado, que visem proteger e conservar os ecossistemas aquáticos, como ecorregiões (AGRA et al., 2018), tipologias de rios, zonamentos ambientais e de recursos hídricos, dentre outros, podem utilizar dos importantes achados da presente pesquisa e dos suportes tecnológicos disponíveis.

6 CONCLUSÕES

A metodologia empregada possibilitou responder as questões propostas sobre a influência dos parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas e dos aspectos da paisagem em relação aos hábitats físicos de riachos no Cerrado, apesar da complexidade apresentada pelos resultados, além de permitir apontar variáveis exploratórias pertinentes para futuros estudos nesse tema e, apesar de não ter contemplado todas as métricas de hábitat físicos de riachos selecionadas, a maior parte teve ao menos um fator influente, sendo que tais métricas são recorrentemente utilizadas por ecólogos de riachos para compreensão dos hábitat.

Os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, assim como as formas de relevo, na escala de captação, foram os mais importantes na configuração de hábitat físicos de riachos e são recomendadas para estudos em qualquer região, independente da paisagem geográfica. Não obstante, recomenda-se que outros fatores estruturantes, cobertura natural e distúrbios antropogênicos, sejam incluídos nas análises, a fim de capturar as particularidades dos sistemas regionais e propiciar uma abordagem holística da configuração dos hábitats físicos de riachos.

A avaliação da influência com todos os riachos mostrou que os parâmetros morfométricos da classe hipsométrica (relação de relevo e amplitude altimétrica) e zonal (área de captação), conjuntamente as formas de relevo, foram as mais importantes para a morfologia do canal e para os fluxos, e conjuntamente aos litotipos/pedotipos, foram relevantes para os substratos. Esses achados reforçam a importância dos aspectos e processos geomorfológicos na configuração dos habitats físicos de riachos. Por outro lado, foram identificadas que as particularidades de cada região devem ser consideradas, visto que as análises dos riachos por unidade hidrológica apresentaram resultados consideravelmente diferentes.

O presente estudo fez um movimento exploratório e revelou algumas variáveis importantes que não foram utilizadas em outras investigações (formas de relevo no geral), outras que já foram utilizadas (área de captação, amplitude altimétrica) e outras variáveis com lógicas semelhantes a de outros estudos (gradiente do canal principal e índice de concavidade do canal principal, relação de relevo), as quais não estavam correlacionadas e foram importantes para diferentes métricas de habitat físicos de riachos. Assim, acredita-se que mais estudos com essas variáveis supracitadas, e outras evidenciadas na presente pesquisa, são necessários para embasar futuras modelagens com foco nos habitats físicos de riachos.

Recomenda-se que as variáveis apresentadas em destaque na presente pesquisa, sejam utilizadas futuras investigações de habitat físicos biológicos e de impacto antrópico, além de poder auxiliar futuras regionalizações de habitats físicos de riachos no ambiente Cerrado, como ecorregiões, facilitando e dando um ponto de partida para o proponente. Além disso, tais variáveis podem ser importantes para nortear o gerenciamento de recursos hídricos e a conservação de espécies de ambientes lóticos que dependem da configuração dos habitats físicos de riachos.

Por fim, algumas limitações e recomendações são apontadas para continuação da presente pesquisa exploratória:

- Aprofundar estudos em relação aos parâmetros morfométricos e, principalmente, as formas de relevo, com os habitats físicos de riachos a partir da comparação de diferentes escalas de influência, podendo assim hierarquizar os fatores;
- Algumas variáveis pertinentes em outras pesquisas na escala de captação não foram consideradas, como a localização geográfica, altitude do site amostrado,

distâncias as estradas rurais, fator comprimento-declividade, etc., sendo importante testá-las em pesquisas futuras.

- Realizar uma modelagem do hábitat físico de riachos sem as sub-bacias aninhadas da bacia hidrográfica do rio Pandeiros, que apesar de diminuir o número de amostras, vai retirar o viés encontrado na presente pesquisa e considerar somente os riachos de cabeceira.
- Utilizar modelos estatísticos robustos e não parâmetros para modelar as variáveis respostas não lineares encontradas na presente pesquisa, ao em vez de linearizá-las.
- A análise da influência dos parâmetros morfométricos sobre tipologias de rios foi visto em pesquisa recente e uma investigação nesse sentido no Cerrado pode auxiliar na discussão apresentada nesta dissertação.

7 REFERÊNCIAS

- AGRA, J. U. M. et al. Ecoregions and stream types help us understand ecological variability in Neotropical reference streams. **Marine and Freshwater Research**, v. 70, n. 4, p. 594–602, 2019.
- ALLAN, J. David. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, 35, 257-284. 2004.
- ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do Rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, [S.l.], v. 33, n. 2, pp. 117-127, 2003.
- ALVES COSTA, D.T.M. **Abordagem sistêmica em bacias hidrográficas – uma análise em nível morfológico aplicada a bacia de Sepetiba – RJ**. Tese (Doutorado em Ciências). IGEO – UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- ALVARES TENENWURCEL, Marcelo et al. An improved model for the evaluation of groundwater recharge based on the concept of conservative use potential: A study in the river Pandeiros Watershed, Minas Gerais, Brazil. **Water**, v. 12, n. 4, p. 1001, 2020.
- AMES, Daniel P. et al. Estimation of stream channel geometry in Idaho using GIS-derived watershed characteristics. **Environmental Modelling & Software**, v. 24, n. 3, p. 444-448, 2009.
- BAADE, J.; SCHMULLIUS, C. TanDEM-X IDEM precision and accuracy assessment based on a large assembly of differential GNSS measurements in Kruger National Park, South Africa. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 119, p. 496-508, 2016.
- BARROS, Luiz Fernando P; MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio P. Bases teóricas e fatores controladores da dinâmica fluvial. In MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio P., et al. Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais. **Bertrand**. Edição do Kindle, 2020.
- BARTON, Kamil; BARTON, Maintainer Kamil. **Package ‘mumin’**. Version, v. 1, n. 18, p. 439, 2015.
- BATEZELLI, Alessandro. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. 2003. vi, 183 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2003.
- BEAVAN, Luke; SADLER, Jon; PINDER, Clive. The invertebrate fauna of a physically modified urban river. **Hydrobiologia**, v. 445, n. 1, p. 97-108, 2001.
- BENONE, N. L. et al. Regional Controls on Physical Habitat Structure of Amazon Streams. **River Research and Applications**, v. 33, n. 5, p. 766–776, 2017.
- BIEGER, K. et al. Development and Comparison of Multiple Regression Models to Predict Bankfull Channel Dimensions for Use in Hydrologic Models. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 52, n. 6, p. 1385–1400, 2016.

- BISSON, Peter A.; BILBY, Robert E. Avoidance of suspended sediment by juvenile coho salmon. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 2, n. 4, p. 371-374, 1982.
- BIVAND, Roger et al. Package 'rgdal'. **Bindings for the Geospatial Data Abstraction Library**. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/rgdal/index.html>, 2015.
- BIVAND, Roger et al. Package 'rgeos'. **The Comprehensive R Archive Network (CRAN)**, 2017.
- BLITZKOW, D. et al. Estudios de gravedad y del modelo de cuasi-geoide para la América del Sur. In: **Simposio Sirgas**. 2015.
- BRENDEN, Travis O. et al. Comparison between model-predicted and field-measured stream habitat features for evaluating fish assemblage-habitat relationships. **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 136, n. 3, p. 580-592, 2007.
- BOOKER, D. J.; DUNBAR, M. J. Application of physical habitat simulation (PHABSIM) modelling to modified urban river channels. **River Research and Applications**, v. 20, n. 2, p. 167-183, 2004.
- BRAUN, Andreas. Retrieval of digital elevation models from Sentinel-1 radar data—open applications, techniques, and limitations. **Open Geosciences**, v. 13, n. 1, p. 532-569, 2021.
- DE MELLO THÉRY, Neli; CARON, Patrick. Controversies and transitions for sustainable development. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 19, n. 3, p. 19027, 2020.
- DELIGNETTE-MULLER, Marie Laure et al. fitdistrplus: An R package for fitting distributions. **Journal of statistical software**, v. 64, n. 4, p. 1-34, 2015.
- CALOW, Peter P.; PETTS, Geoffrey E. (Ed.). **The rivers handbook: hydrological and ecological principles**. John Wiley & Sons, 2009.
- CAMPBELL, Donald T. Systematic error on the part of human links in communication systems. **Information and control**, v. 1, n. 4, p. 334-369, 1958.
- CAMPBELL, Kenneth L.; KUMAR, Surendera; JOHNSON, Howard P. Stream straightening effects on flood-runoff characteristics. **Transactions of the ASAE**, v. 15, n. 1, p. 94-0098, 1972.
- CHARLTON, R. **Fundamentals of Fluvial Geomorphology**. Londres: Routledge, 2007.
- CHEN, X. Y.; CHAU, Kwok-Wing; BUSARI, A. O. A comparative study of population-based optimization algorithms for downstream river flow forecasting by a hybrid neural network model. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 46, p. 258-268, 2015.
- CHIMPLIGANOND, C.N. Estudos sobre a sismicidade de Caraíbas-Itacarambi, Minas Gerais: causas e características. **Geomorphology and General Systems Theory**. US, vol. 500-B, pp. 1-10, 2013.

- CHEREM, Luís Felipe S. **Análise morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas-MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2008.
- CHEREM, Luís Felipe S., et al. Análise morfométrica em bacias hidrográficas. In MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio P., et al. Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais. **Bertrand**. Edição do Kindle, 2020.
- CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. *Physical Geograph: a systems approach*. **Englewood Cliffs, Prentice Hall**, 1971.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. Some recent Brazilian studies in fluvial geomorphology. **Progress in Physical Geography**, v. 4, n. 3, p. 414-420, 1980.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio, et al. Contribuição à análise morfométrica das regiões das bacias do Jequitinhonha e Extremo Sul, no Estado da Bahia. **Notícia Geomorfológica**, p. 61-83, 1981.
- CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ed. Edgard Blucher Ltda, 1999.
- CORDEIRO, Gauss Moutinho; DEMÉTRIO, Clarice GB. Modelos lineares generalizados e extensões. **Piracicaba: USP**, 2008.
- COUTO, E. V.; FORTES, E.; SORDI, M. V.; MARQUES, A. J.; CAMOLEZI, B. A. Seppômen Maps for Geomorphic Developments Analysis: The Case of Paraná Plateau BORDER, Faxinal, State of Paraná, Brazil. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 34, n. 1, pp. 71-78, 2012.
- COX, Randel Tom. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: An example from the Mississippi Embayment. **Geological society of america bulletin**, v. 106, n. 5, p. 571-581, 1994.
- CRIPPEN, R. et al. NASADEM global elevation model: Methods and progress. **International Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, Prague, Czechoslovakia July 12-19, 2016. Acesso em 8 de junho de 2020. Disponível em: <https://trs.jpl.nasa.gov/handle/2014/46123>.
- DAVIES, Nerida M.; NORRIS, Richard H.; THOMS, Martin C. Prediction and assessment of local stream habitat features using large-scale catchment characteristics. **Freshwater Biology**, v. 45, n. 3, p. 343-369, 2000.
- DINIZ FILHO, José Alexandre F et al. Spatial patterns of terrestrial vertebrate species richness in the brazilian cerrado. **Zoological Studies, Taipei**, v. 47, n. 2, p. 146-157, Jan. 2008.
- DUDGEON, David et al. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological reviews**, v. 81, n. 2, p. 163-182, 2006.
- ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. de J. Aplicação do índice “Relação declividade-extensão — RDE” na bacia do rio do Peixe

(SP) para detecção de deformações neotectônicas. **Geologia USP — Série Científica**, São Paulo, v. 4, n. 2, pp. 43-56, 2004.

FAUSTINI, John M.; KAUFMANN, Philip R.; HERLIHY, Alan T. Downstream variation in bankfull width of wadeable streams across the conterminous United States. **Geomorphology**, v. 108, n. 3-4, p. 292-311, 2009.

FERNANDEZ, Oscar Vicente Q. Análise morfométrica e simulações da vazão máxima no rio bandeira e afluentes, município de campo bonito, oeste do paraná. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 101, p. 62-80, 2020.

FIELD, Andy. **Discovering statistics using SPSS**. Sage publications, 2009.

FRAPPIER, Brian; ROBERT Eckert T. A new index of habitat alteration and a comparison of approaches to predict stream habitat conditions. **Freshwater Biology** 52, no. 10: 2009-2020. 2007.

FRIMPONG, Emmanuel A. et al. Spatial-scale effects on relative importance of physical habitat predictors of stream health. **Environmental management**, v. 36, n. 6, p. 899-917, 2005.

FRISSELL, Christopher A. et al. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. **Environmental management**, v. 10, n. 2, p. 199-214, 1986.

FÚLFARO, Vicente José; BARCELOS, José Humberto. Grupo Bauru no Triângulo Mineiro: uma nova visão litoestratigráfica. **Simpósio do Sudeste**, v. 2, p. 59-66, 1991.

GRABOWSKI, Robert C. Measuring the shear strength of cohesive sediment in the field. **Geomorphological Techniques. British Society for Geomorphology**, 2014.

GROHMANN, Carlos Henrique; RICCOMINI, Claudio. Análise digital de terreno e evolução de longo-termo de relevo do centro-leste brasileiro. **Geologia USP. Série Científica**, v. 12, n. 2, p. 129-150, 2012.

GROHMANN, Carlos H. Evaluation of TanDEM-X DEMs on selected Brazilian sites: Comparison with SRTM, ASTER GDEM and ALOS AW3D30. **Remote Sensing of Environment**, v. 212, p. 121-133, 2018.

GUERRERO, Victor M. Time-series analysis supported by power transformations. **Journal of forecasting**, v. 12, n. 1, p. 37-48, 1993.

HAIGH, M. J. Geography and general systems theory, philosophical homologies and current practice. **Geoforum**, 16(2): 191 – 203, 1985.

HARREMOES, P. et al. Impact of rain runoff on oxygen in an urban river. **Water Science and Technology**, v. 34, n. 12, p. 41-48, 1996.

HIJMANS, Robert J. et al. Package ‘raster’. **R package**, v. 734, 2015a.

HIJMANS, Robert J. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005b.

HORTON, Robert E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological society of America bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

HUGHES, Robert M.; KAUFMANN, Philip R.; WEBER, Marc H. National and regional comparisons between Strahler order and stream size. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 30, n. 1, p. 103-121, 2011.

HYNDMAN, Rob J. et al. **Package ‘forecast’**. 2020. Acesso 20 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/forecast/forecast.pdf>,

IBGE. **O novo modelo de ondulação geoidal do Brasil MAPGEO2015**. Relatórios de desenvolvimento do MAPGEO2015, 17 p., 2015. Acesso em: 9 de junho de 2020. Disponível em: http://geo.ibge.gov.br/modelos_digitais_de_superficie/modelo_de_ondulacao_geoidal/cartograma/rel_mapgeo2015.pdf.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Brasília – DF. Acesso em: 14 Dez. 2021. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>.

IBGE. **Base cartográfica vetorial contínua do Brasil em escala 1:250.000, versão 2019**. Brasília – DF. 2019. Acesso em junho de 2020. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2019/.

JASIEWICZ, Jarosław; STEPINSKI, Tomasz F. Geomorphons—a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. **Geomorphology**, v. 182, p. 147-156, 2013.

JEFFERS, J. N. R. Characterization of river habitats and prediction of habitat features using ordination techniques. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 8, n. 4, p. 529–540, 1998.

KAUFMANN, P., et al, 1999. Quantifying physical habitat in wadeable streams. EPA/620/R-99/003. U.S. **Environmental Protection Agency**, Washington, DC.

KAUFMANN, Philip R.; HUGHES, Robert M. Geomorphic and anthropogenic influences on fish and amphibians in Pacific Northwest coastal streams. In: **American Fisheries Society Symposium**. 2006. p. 55.

KAUFMANN, Philip R. et al. A roughness-corrected index of relative bed stability for regional stream surveys. **Geomorphology**, v. 99, n. 1-4, p. 150-170, 2008.

KAUFMANN, Philip R.; LARSEN, David P.; FAUSTINI, John M. Bed stability and sedimentation associated with human disturbances in Pacific Northwest streams 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 2, p. 434-459, 2009.

KARR, J., 1998. Rivers as sentinels: using the biology of rivers to guide landscape management, in: Naiman, R., Bilby, R. (Eds.), *River Ecology and Management: Lessons from the Pacific Coastal Ecoregion*. **Springer-Verlag**, New York, pp. 502–528.

KARR, James R. Defining and measuring river health. **Freshwater biology**, v. 41, n. 2, p. 221-234, 1999.

KENNETH P. BURNHAM, David R. ANDERSON. Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic. **The Journal of Wildlife Management**. Vol. 65, No. 3 , pp. 606-608, 2001.

KLEIN HENTZ, Ângela Maria et al. Accuracy and optimal altitude for physical habitat assessment (PHA) of stream environments using unmanned aerial vehicles (UAV). **Drones**, v. 2, n. 2, p. 20, 2018.

LACERDA, Heitor Carvalho et al. Avaliação comparativa da precisão vertical de modelos digitais de elevação derivados de satélites globais gratuitos. **Revista Espinhaço**, 2021.

LEAL, Cecília G., et al. Multi-scale assessment of human-induced changes to amazonian instream habitats. **Landscape ecology**, 31.8: 1725-1745, 2016.

LECOURS, Vincent et al. Spatial scale and geographic context in benthic habitat mapping: review and future directions. **Marine Ecology Progress Series**, v. 535, p. 259-284, 2015.

LEGENDRE, Pierre; LEGENDRE, Louis. **Numerical ecology**. Elsevier, 2012.

LEOPOLD, A. Starker et al. Predator and rodent control in the United States. 1964.

LINTERN, A. et al. Key factors influencing differences in stream water quality across space. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 5, n. 1, p. e1260, 2018.

MACEDO, Diego Rodrigues. **Influências ambientais em múltiplas escalas espaciais sobre assembleias aquáticas no Cerrado**. 2013. Tese (Doutorado em Ecologia) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MACEDO, Diego R., et al. The relative influence of catchment and site variables on fish and macroinvertebrate richness in cerrado biome streams. **Landscape Ecology** 29, 1001–1016. doi:10.1007/s10980-014-0036-9, 2014a.

MACEDO, Diego R., et al. Sampling site selection, land use and cover, field reconnaissance, and sampling. In: CALLISTO, Marcos, et al. Ecological Conditions in Hydropower Basins. **Série Peixe Vivo 3**. Companhia Energética de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, pp. 61–83. 2014b.

MACEDO, Diego R. et al. Development and validation of an environmental fragility index (EFI) for the neotropical savannah biome. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 1267-1279, 2018.

MACEDO, Diego R., et al. Escalas Espaciais e Comunidades Aquáticas. In: Callisto, Marcos et al. Bases Conceituais para Conservação e Manejo de Bacias Hidrográficas. **Série Peixe-Vivo 7**. Cemig - Companhia Energética de Minas Gerais: Belo Horizonte, Brasil, pp. 29-62. 2019.

MACMILLAN, R. A.; SHARY, P. A. Landforms and landform elements in geomorphometry. **Developments in soil science**, v. 33, p. 227-254, 2009.

MAC NALLY, Ralph; WALLIS, Elizabeth; LAKE, P. Sam. Geometry of biodiversity patterning: assemblages of benthic macroinvertebrates at tributary confluences. **Aquatic ecology**, v. 45, n. 1, p. 43-54, 2011.

MADDOCK, Ian. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health. **Freshwater biology**, v. 41, n. 2, p. 373-391, 1999.

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio P.; DE BARROS, Luiz Fernando P. Hidrogeomorfologia: Formas, processos e registros sedimentares fluviais. **Bertrand**. Edição do Kindle. 2020.

MAGALHÃES, Mônica de Avelar Figueiredo Mafra. **A contribuição da Geomática na Geografia da Saúde sob uma abordagem da Teoria Geral de Sistemas**. Tese de Doutorado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.

MAILUND, Thomas. Manipulating data frames: dplyr. In: **R Data Science Quick Reference**. Apress, Berkeley, CA, 2019. p. 109-160.

MAPBIOMAS. **Coleção de Séries brasileira de Uso e Cobertura da Terra, versão 6.0**. (<http://mapbiomas.org/>). Acessado em 14 de jan., 2022.

MARTINS, Isabela et al. Are multiple multimetric indices effective for assessing ecological condition in tropical basins?. **Ecological Indicators**, v. 110, p. 105953, 2020.

MATOS, A.; DILTS, T. E. Hypsometric Integral Toolbox for ArcGIS®. **University of Nevada Reno**, 2019.

MIALL, Andrew D. Reconstructing the architecture and sequence stratigraphy of the preserved fluvial record as a tool for reservoir development: A reality check. **AAPG bulletin**, v. 90, n. 7, p. 989-1002, 2006.

MILES, E. **Catchment-level effects on river habitats: a spatial data-science study of rivers in England and Wales** (Doctoral dissertation, King's College London), 2020.

MOLINA, Mariana C., et al. The effects of land use at different spatial scales on instream features in agricultural streams. **Limnologica**, 65: 14-21. 2017.

MORAIS, Josyceyla Duarte. **Avaliação de modelos digitais de elevação provenientes de dados de sensoriamento remoto de distribuição gratuita**. 2017. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

MOREL, M. et al. Intercontinental predictions of river hydraulic geometry from catchment physical characteristics. **Journal of Hydrology**, v. 582, n. May, p. 124292, 2020.

MUDD, Simon M. et al. How concave are river channels?. **Earth Surface Dynamics**, v. 6, n. 2, p. 505-523, 2018.

MUDD, Simon M. Topographic data from satellites. In: **Developments in Earth Surface Processes**. Elsevier, 2020. p. 91-128.

MUGODO, James et al. Local stream habitat variables predicted from catchment scale characteristics are useful for predicting fish distribution. **Hydrobiologia**, v. 572, n. 1, p. 59-70, 2006.

- MYERS, Norman et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.
- NAURA, M. et al. Mapping habitat indices across river networks using spatial statistical modelling of River Habitat Survey data. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 20–29, 2016.
- NERO, Marcelo Antônio. **Propostas para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- NEXTGIS. QuickMapServices: easy basemaps in QGIS. 2015. Disponível em: <<http://nextgis.com/blog/quickmapservices/>> Acesso: 14 de jun, 2020.
- NEILL, Christopher et al. Watershed responses to Amazon soya bean cropland expansion and intensification. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1619, p. 20120425, 2013.
- OHMORI, H. Changes in the hypsometric curve through mountain building resulting from concurrent tectonics and denudation. **Geomorphology**, v. 8, n. 4, p. 263–277, 1993.
- OLSEN, Anthony R.; PECK, David V. Survey design and extent estimates for the Wadeable Streams Assessment. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 27, n. 4, p. 822-836, 2008.
- PATTON, P. C.; BAKER, V. R. Morphometry and Floods in Small Drainage Basin Subject to diverse Hydrogeomorphic Controls. **Water Resources Research**, [S.l.], v. 12 n. 5, pp. 941-952, 1976.
- PAULSEN, S.G., et al. Condition of Stream ecosystems in the US: an overview of the first national assessment. **Journal of the North American Benthological Society** 27, 812–821, 2008.
- PAZZAGLIA, F. J. Fluvial Terraces. In: WOHL, E. (ed.). **Treatise on Fluvial Geomorphology**. New York: Elsevier, 2013. pp. 379-412.
- PRASAD, Anantha, M; IVERSON, Louis R; LIAW, Andy. Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction. **Ecosystems**. 9(2):181-99, 2006.
- PECK, D., et al. Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters Western Pilot Study: field operations manual for wadeable streams. EPA/620/R-06/003. U.S. **Environmental Protection Agency**, Washington, DC. 2006.
- PEDERSEN, M. L.; FRIBERG, N.; LARSEN, S. E. Physical habitat structure in Danish lowland streams. **River Research and Applications**, v. 20, n. 6, p. 653–669, 2004.
- PÉREZ-PEÑA, José Vicente et al. SwathProfiler and NProfiler: Two new ArcGIS Add-ins for the automatic extraction of swath and normalized river profiles. **Computers & Geosciences**, v. 104, p. 135-150, 2017.
- PETTS, Judith et al. **Environmental impact assessment for waste treatment and disposal facilities**. John Wiley & Sons Ltd, 1994.
- PURINTON, Benjamin; BOOKHAGEN, Bodo. Elevation validation and geomorphic metric comparison with focus on ASTER GDEM2, SRTM-C, ALOS World 3D, and TanDEM-X. In: **EGU General Assembly Conference Abstracts**. 2017. p. 4510.

RICHARDS, C.; JOHNSON, L. B.; HOST, G. E. Landscape-scale influences on stream habitats and biota. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 53, n. SUPPL. 1, p. 295–311, 1996.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical, 2017. Disponível em: <<http://www.Rproject.org/>>. Acesso em 12 junho. 2019.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais, Folha SD.23 Brasília: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral, v. 29, 1982, p.660.

RAWLINS, B. G. et al. A model of potential carbon dioxide efflux from surface water across England and Wales using headwater stream survey data and landscape predictors. **Biogeosciences**, v. 11, n. 7, p. 1911-1925, 2014.

REBOITA, Michelle Simões et al. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

RODRIGUES, Valdemir Antônio, et al. Análise morfométrica da microbacia do Ribeirão das Araras-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Garça**, v. 21, n. 1, p. 25-37, 2013.

ROWE, David C.; PIERCE, Clay L.; WILTON, Thomas F. Physical habitat and fish assemblage relationships with landscape variables at multiple spatial scales in wadeable Iowa streams. **North American Journal of Fisheries Management**, v. 29, n. 5, p. 1333-1351, 2009.

SALA, Osvaldo E., et al. Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000.

SCHUMM, Stanley A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological society of America bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, Stanley. A.; LITCHY, R. W. Time, Space and Causality in Geomorphology. **American Journal of Science**, [S.l.], v. 263, n. 2, pp. 110-119, 1965.

SCHUMM, Stanley A. **River variability and complexity**. Cambridge University Press, 2007.

SHI, Peng et al. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. **Catena**, v. 151, p. 182-190, 2017.

STEPINSKI, Tomasz F.; JASIEWICZ, Jaroslaw. Geomorphons-a new approach to classification of landforms. **Proceedings of geomorphometry**, v. 2011, p. 109-112, 2011.

STRAHLER, Arthur N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological society of america bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952a.

STRAHLER, Arthur N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological society of America bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952b.

- SYVITSKI, James PM et al. Distributary channels and their impact on sediment dispersal. **Marine Geology**, v. 222, p. 75-94, 2005.
- TAKAKU, Junichi; TADONO, Takeo; TSUTSUI, Ken. Generation of high resolution global dsm from alos prism. **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, v. 2, n. 4, 2014.
- THOMAS, M. F. Understanding the Impacts of Late Quaternary Change in Tropical and Sub-Tropical Regions. **Geomorphology**, [S.l.], v. 101, n. 1-2, pp. 146-158, 2008.
- THORNDYCRAFT, V. R.; BENITO, Gerardo; GREGORY, K. J. Fluvial geomorphology: A perspective on current status and methods. **Geomorphology**, v. 98, n. 1-2, p. 2-12, 2008.
- THORNE, Colin et al. **Applied fluvial geomorphology for river engineering and management**. John Wiley and Sons Ltd, 2005.
- TURNER, M.G., GARDNER, R.H., O'NEILL, R. V., 2001. Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process. Springer, New York, NY.
- TUNAS, I. Gede; ANWAR, Nadjadji; LASMINTO, Umboro. Analysis of Main Morphometry Characteristic of Watershed and It's Effect to The Hydrograph Parameters. **IPTEK The Journal for Technology and Science**, v. 28, n. 1, p. 30-36, 2017.
- UN. UNITED NATIONS. **Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development**. 2016.
- USGS, 2005. **Shuttle Radar Topography Mission: Quick Facts**, URL: Acesso em 3 de junho de 2020. Disponível em: <http://srtm.usgs.gov/Mission/quickfacts.html>.
- VALERIANO, M. de M.; ROSSETTI, D. de F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 1-8, 2009.
- VALERIANO, Márcio De Morisson; ROSSETTI, Dilce De Fátima. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300-309, 2012.
- VILLELA, Swami M.; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. Editora McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- VON BERTALANFFY, Ludwig. The meaning of general system theory. **General system theory: Foundations, development, applications**, p. 30-53, 1973.
- VON SPERLING, Eduardo. Hydropower in Brazil: overview of positive and negative environmental aspects. **Energy Procedia**, v. 18, p. 110-118, 2012.
- WANG, L. et al. Predictability of In-Stream Physical Habitat for Wisconsin and Northern Michigan Wadeable Streams Using GIS-Derived Landscape Data. **Riparian Ecology and Conservation**, v. 1, p. 11-24, 2013.
- WILKERSON, Gregory V. et al. Continental-scale relationship between bankfull width and drainage area for single-thread alluvial channels. **Water Resources Research**, v. 50, n. 2, p. 919-936, 2014.

WILKINSON, David. **Environment and law**. Routledge, 2005.

WILLMOTT, Cort J.; MATSUURA, Kenji. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate research**, v. 30, n. 1, p. 79-82, 2005.

8 APÊNDICES

8.1 Apêndice I. Seleção de Variáveis Explicativas

Tabela 9. Variáveis explicativas selecionada para o modelo geral. Destaque em vermelho para as variáveis que não foram adequadas aos critérios e destaque em verde para as variáveis aptas.

Subgrupos	Varável	CV (< 0.1)	Distancia Min-Max (< 10%)	Valores 0 (> 90%)	Correlação (> 0.7)	Correlação com variáveis explicativas baixo (≤ 0.25)
Parâmetros Morfométricos da Classe Linear	Ord	0.35	-	0	N	N
	L	1.59	-	0	S	N
	Lt	2.71	-	0	S	N
	La	1.41	-	0	S	N
	Is	0.22	-	0	N	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Zonal	A	3.07	-	0	N	N
	P	1.56	-	0	S	N
	Kc	0.14	-	0	S	N
	Kf	0.95	-	0	N	S
	Ic	0.25	-	0	N	N
	Dr	1.20	-	0	S	N
	Dd	0.65	-	0	S	N
	Cm	0.49	-	0	S	N
	EPS	0.49	-	0	N	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Hipsométrica	Ir	0.80	-	0	S	N
	H	0.41	-	0	N	N
	Dm	0.44	-	0	S	N
	Gcp	2.47	-	0	N	N
	Rr	0.72	-	0	N	N
	Icon	1.18	-	0	N	S
	HI	0.24	-	0	N	S
Curvatura Plana	Convergente	0.07	0.16	0	S	N
	Planar	0.19	0.33	0	S	N
	Divergente	0.08	0.18	0	S	N
Curvatura Perfil	Convexa	0.13	0.21	0	S	N
	Retilínea	0.16	0.44	0	S	N
	Côncava	0.12	0.23	0	N	N
Curvatura Geral	Conver_Conv	0.65	0.10	0	S	N
	Plan_Conv	0.46	0.11	0	S	N
	Diverg_Conv	0.45	0.29	0	S	N
	Conver_Retil	0.46	0.18	0	S	N
	Plan_Retil	0.51	0.23	0	S	N
	Diverg_Retil	0.54	0.18	0	S	N
	Conver_Conca	0.45	0.26	0	S	N
	Plan_Conca	0.45	0.11	0	S	N
	Diverg_Conca	0.67	0.10	0	N	N
Declividade	Plano	1.01	0.46	1	N	S
	Suave Ondulado	0.35	0.88	0	S	N
	Ondulado	0.67	0.71	0	S	N
	Forte Ondulado	1.83	0.55	18	S	N
	Montanhoso	3.02	0.07	135	N	S
	Escarvado	6.24	0.00	174	N	S
Orientação das Vertentes	Norte	0.39	0.51	0	N	S
	Leste	0.37	0.48	0	S	S
	Sul	0.34	0.59	1	S	S
	Oeste	0.34	0.64	0	N	S
Geomorphons	Plano	1.73	0.39	20	N	N
	Pico	1.05	0.05	21	N	N
	Crista	0.66	0.28	1	N	N

	Ressalto	0.49	0.32	0	N	N
	Crista Secundário	0.34	0.20	2	N	S
	Encosta	0.27	0.50	0	N	N
	Escavado	0.32	0.19	0	N	S
	Sopé	0.87	0.11	3	N	N
	Vale	0.35	0.31	0	S	N
	Depressão	2.82	0.04	80	N	S
Aspectos Climáticos e Altitude	Precipitação	0.13	-	0	S	N
	Temperatura	0.05	-	0	N	N
	Altitude	0.22	-	0	S	N
Uso e Cobertura da Terra	Savana Florestada	0.69	0.56	2	N	S
	Savana Parque	1.58	0.94	107	N	N
	Savana Gramíneo lenhosa	1.46	0.60	61	N	N
	Vereda	2.25	0.19	126	N	S
	Urbano	5.41	0.85	159	N	S
	Pastagem	0.85	0.72	25	N	N
	Agricultura	0.93	0.94	25	S	S
	Eucalipto	3.04	0.37	139	N	N
Tipos de Solos	Latossolo	0.60	1.00	16	S	N
	Cambissolo	1.67	1.00	109	N	N
	Argissolo	4.36	0.77	174	N	N
	Neossolo	1.85	1.00	132	N	N
	Gleissolo	3.29	0.22	172	N	N
	Nitossolo	14.11	0.10	195	N	S
Tipos de Rochas	Areia_Argila	1.99	1.00	130	N	N
	Arenitos	1.06	1.00	80	N	N
	Ígneas	1.59	1.00	95	N	N
	Xistos_Filitos	2.46	1.00	161	S	N
	Folhelhos	2.92	1.00	170	N	N
	Arcóseo_Argilitos	3.98	1.00	180	N	N
Unidade Hidrológicas	PA	2.00	-	159	S	N
	TM	2.00	-	159	S	N
	NP	2.00	-	159	S	N
	SS	2.03	-	160	N	S
	VG	2.00	-	159	N	N

Tabela 10. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de São Simão. Os destaques seguem o padrão da Tabela 9.

<i>Subgrupos</i>	<i>Varável</i>	<i>CV</i> (<i>< 0.1</i>)	<i>Distancia</i> <i>Min-Max</i> (<i>< 10%</i>)	<i>Valores 0</i> (<i>> 90%</i>)	<i>Correlação</i> (<i>> 0.7 </i>)	<i>Correlação com</i> <i>variáveis</i> <i>explicativas</i> <i>baixo (< 0.25)</i>
Parâmetros Morfométricos da Classe Linear	Ord	0.31	-	0	N	N
	L	0.61	-	0	S	N
	Lt	0.91	-	0	S	N
	La	0.56	-	0	S	N
	Is	0.11	-	0	N	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Zonal	A	0.84	-	0	N	N
	P	0.49	-	0	S	N
	Kc	0.08	-	0	N	N
	Kf	0.86	-	0	N	N
	Ic	0.16	-	0	S	N
	Dr	0.65	-	0	N	N
	Dd	0.34	-	0	S	S
	Cm	0.37	-	0	S	N
EPS	0.37	-	0	N	N	
Parâmetros Morfométricos da Classe Hipsométrica	Ir	0.54	-	0	S	N
	H	0.33	-	0	N	N
	Dm	0.26	-	0	S	S
	Gcp	0.47	-	0	N	N
	Rr	0.63	-	0	N	N
	ICon	1.27	-	0	N	N
Curvatura Plana	HI	0.30	-	0	N	S
	Convergente	0.04	0.07	0	S	S
	Planar	0.09	0.14	0	S	S
	Divergente	0.04	0.07	0	S	N

Curvatura Perfil	Convexa	0.05	0.06	0	N	N
	Retilínea	0.06	0.15	0	S	N
	Côncava	0.06	0.09	0	S	N
Curvatura Geral	Conver_Conv	0.24	0.04	0	S	S
	Plan_Conv	0.08	0.03	0	S	S
	Diverg_Conv	0.05	0.04	0	S	S
	Conver_Retil	0.05	0.04	0	N	N
	Plan_Retil	0.13	0.10	0	S	N
	Diverg_Retil	0.07	0.03	0	S	N
	Conver_Conca	0.06	0.05	0	S	N
	Plan_Conca	0.07	0.03	0	N	N
Declividade	Diverg_Conca	0.27	0.04	0	S	N
	Plano	0.72	0.42	0	N	N
	Suave Ondulado	0.10	0.30	0	N	N
	Ondulado	0.74	0.30	1	S	N
	Forte Ondulado	1.37	0.14	10	N	S
	Montanhoso	2.03	0.04	26	S	S
Orientação das Vertentes	Escarpado	3.60	0.00	35	N	N
	Norte	0.42	0.40	0	S	S
	Leste	0.34	0.35	0	S	S
	Sul	0.44	0.42	0	N	N
Geomorphons	Oeste	0.43	0.47	0	N	S
	Plano	0.90	0.09	0	N	N
	Pico	0.78	0.02	1	N	N
	Crista	0.48	0.11	0	N	N
	Ressalto	0.32	0.20	0	S	N
	Crista Secundária	0.31	0.11	0	S	N
	Encosta	0.15	0.27	0	N	N
	Escavado	0.27	0.08	0	N	N
	Sopé	0.84	0.11	0	N	N
	Vale	0.24	0.12	0	N	N
Aspectos Climáticos e Altitude	Depressão	1.87	0.00	21	N	N
	Precipitação	0.05	-	0	N	S
	Temperatura	0.01	-	0	N	N
Uso e Cobertura da Terra	Altitude	0.11	-	0	S	N
	Savana Florestada	0.49	0.26	1	N	N
	Savana Parque	2.50	0.13	27	N	N
	Savana Gramíneo lenhosa	1.88	0.15	18	S	N
	Vereda	1.02	0.11	9	N	N
	Urbano	5.76	0.85	36	N	N
	Pastagem	1.39	0.61	10	N	N
	Agricultura	0.31	0.94	1	N	N
	Eucalipto	1.89	0.06	27	N	N
Tipos de Solos	Latossolo	0.17	0.56	0	S	N
	Cambissolo	3.59	0.04	36	N	N
	Argissolo	2.73	0.50	33	N	N
	Neossolo	1.72	0.26	25	N	N
	Gleissolo	0.00	0.00	39	N	S
	Nitossolo	6.24	0.10	38	N	N
Tipos de Rochas	Areia_Argila	0.00	0.00	39	N	S
	Arenito	0.57	1.00	8	S	N
	Ígnea	1.36	1.00	10	N	N
	Xisto_Filito	0.00	0.00	39	N	S
	Folhelho	0.00	0.00	39	N	S
	Arcóseo_Argilito	0.00	0.00	39	N	S

Tabela 11. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Nova Ponte. Os destaques seguem o padrão da Tabela 9.

<i>Subgrupos</i>	<i>Varável</i>	<i>CV</i> (<i>< 0.1</i>)	<i>Distancia</i> <i>Min-Max</i> (<i>< 10%</i>)	<i>Valores 0</i> (<i>> 90%</i>)	<i>Correlação</i> (<i>> 0.7 </i>)	<i>Correlação com</i> <i>variáveis</i> <i>explicativas</i> <i>baixo (< 0.25)</i>
Parâmetros Morfométricos da Classe Linear	Ord	0.29	-	0	N	N
	L	0.79	-	0	S	N
	Lt	1.12	-	0	S	N
	La	0.65	-	0	N	N
	Is	0.20	-	0	N	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Zonal	A	0.98	-	0	S	N
	P	0.56	-	0	S	N
	Kc	0.12	-	0	S	N
	Kf	0.65	-	0	N	N
	Ic	0.20	-	0	S	N
	Dr	0.62	-	0	N	N
	Dd	0.34	-	0	S	N
	Cm	0.48	-	0	S	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Hipsométrica	EPS	0.48	-	0	S	N
	Ir	0.68	-	0	S	N
	H	0.45	-	0	N	N
	Dm	0.37	-	0	S	N
	Gcp	2.24	-	0	N	N
	Rr	0.50	-	0	N	N
	ICon	1.14	-	0	N	S
Curvatura Plana	HI	0.20	-	0	N	N
	Convergente	0.10	0.16	0	S	N
	Planar	0.24	0.28	0	S	N
Curvatura Perfil	Divergente	0.09	0.14	0	S	N
	Convexa	0.11	0.14	0	S	N
	Retilínea	0.16	0.27	0	S	N

	Côncava	0.11	0.15	0	N	N
Curvatura Geral	Conver_Conv	1.34	0.03	0	S	N
	Plan_Conv	1.43	0.08	0	S	N
	Diverg_Conv	1.34	0.18	0	S	N
	Conver_Retil	1.26	0.12	0	S	N
	Plan_Retil	1.53	0.15	0	S	N
	Diverg_Retil	1.64	0.11	0	S	N
	Conver_Conca	1.34	0.17	0	S	N
	Plan_Conca	1.64	0.11	0	N	N
	Diverg_Conca	1.44	0.03	0	S	N
Declividade	Plano	1.13	0.26	0	S	N
	Suave Ondulado	0.44	0.59	0	S	N
	Ondulado	0.31	0.60	0	N	N
	Forte Ondulado	1.31	0.55	2	S	N
	Montanhoso	3.12	0.03	34	S	N
	Escarpado	6.32	0.00	39	N	N
Orientação das Vertentes	Norte	0.31	0.34	0	N	N
	Leste	0.47	0.48	0	N	N
	Sul	0.39	0.34	0	N	N
	Oeste	0.43	0.44	0	S	N
Geomorphons	Plano	2.12	0.39	10	S	N
	Pico	1.28	0.02	15	N	N
	Crista	0.66	0.17	1	N	N
	Ressalto	0.42	0.28	0	N	N
	Crista Secundária	0.42	0.20	1	N	N
	Encosta	0.21	0.29	0	N	N
	Escavado	0.37	0.13	0	N	N
	Sopé	0.87	0.05	1	N	N
	Vale	0.22	0.20	0	N	N
	Depressão	1.63	0.02	23	N	N
Aspectos Climáticos e Altitude	Precipitação	0.03	163.21	0	N	N
	Temperatura	0.02	1.51	0	S	N
	Altitude	0.05	150.00	0	N	N
Uso e Cobertura da Terra	Savana Florestada	0.52	0.34	0	N	N
	Savana Parque	2.47	0.88	33	S	N
	Savana Gramíneo lenhosa	1.34	0.60	14	N	N
	Vereda	2.28	0.05	32	N	N
	Urbano	5.51	0.16	38	N	N
	Pastagem	1.10	0.71	9	N	N
	Agricultura	0.64	0.91	3	S	N
	Eucalipto	0.00	0.00	40	N	S
Tipos de Solos	Latossolo	0.57	1.00	2	N	N
	Cambissolo	1.95	0.95	27	N	N
	Argissolo	3.98	0.77	37	N	S
	Neossolo	2.56	1.00	33	N	N
	Gleissolo	0.00	0.00	40	N	S
	Nitossolo	0.00	0.00	40	N	S
Tipos de Rochas	Areia_Argila	0.00	0.00	40	N	S
	Arenito	1.73	1.00	28	S	N
	Ígnea	2.51	0.58	32	N	N
	Xisto_Filito	0.65	1.00	10	N	N
	Folhelho	0.00	0.00	40	N	S
	Arcóseo_Argilito	6.32	0.98	39	N	S

Tabela 12. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Volta grande. O padrão de destaques segue o padrão da tabela 9.

<i>Subgrupos</i>	<i>Varável</i>	<i>CV</i> (<i>< 0.1</i>)	<i>Distancia</i> <i>Min-Max</i> (<i>< 10%</i>)	<i>Valores 0</i> (<i>> 90%</i>)	<i>Correlação</i> (<i>> 0.7 </i>)	<i>Correlação com</i> <i>variáveis explicativas</i> <i>baixo (< 0.25)</i>
Parâmetros Morfométricos da Classe Linear	Ord	0.28	-	0	S	N
	L	0.85	-	0	S	N
	Lt	1.10	-	0	S	N
	La	0.76	-	0	S	N
	Is	0.13	-	0	S	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Zonal	A	1.11	-	0	S	N
	P	0.65	-	0	S	N
	Kc	0.12	-	0	N	N
	Kf	0.88	-	0	N	N
	Ic	0.22	-	0	S	N
	Dr	0.71	-	0	S	N
	Dd	0.24	-	0	S	N
	Cm	0.30	-	0	S	N
EPS	0.30	-	0	N	N	
Parâmetros Morfométricos da Classe Hipsométrica	Ir	0.43	-	0	S	N
	H	0.37	-	0	N	N
	Dm	0.27	-	0	S	N
	Gcp	0.54	-	0	N	N
	Rr	0.56	-	0	S	N
	ICon	1.50	-	0	N	N
Curvatura Plana	HI	0.18	-	0	N	N
	Convergente	0.05	0.08	0	S	N
	Planar	0.10	0.14	0	S	N
Curvatura Perfil	Divergente	0.05	0.07	0	S	N
	Convexa	0.06	0.08	0	S	N
	Retilínea	0.07	0.15	0	S	N
Curvatura Geral	Côncava	0.06	0.08	0	N	N
	Conver_Conv	0.34	0.05	0	S	N
	Plan_Conv	0.09	0.03	0	N	S

	Diverg_Conv	0.05	0.04	0	S	N
	Conver_Retil	0.07	0.04	0	N	N
	Plan_Retil	0.12	0.10	0	S	N
	Diverg_Retil	0.11	0.03	0	S	N
	Conver_Conca	0.06	0.05	0	S	N
	Plan_Conca	0.11	0.03	0	S	N
	Diverg_Conca	0.32	0.04	0	S	N
Declividade	Plano	0.55	0.12	0	S	N
	Suave Ondulado	0.18	0.45	0	S	N
	Ondulado	0.37	0.40	0	N	N
	Forte Ondulado	1.65	0.23	3	S	N
	Montanhoso	4.12	0.02	32	S	N
	Escarpado	4.46	0.00	38	N	N
Orientação das Vertentes	Norte	0.58	0.51	0	N	N
	Leste	0.52	0.39	0	S	N
	Sul	0.34	0.48	0	S	N
	Oeste	0.34	0.58	0	N	N
Geomorphons	Plano	1.11	0.10	6	S	S
	Pico	0.96	0.03	3	N	N
	Crista	0.59	0.12	0	N	N
	Ressalto	0.34	0.21	0	N	N
	Crista Secundária	0.34	0.17	0	N	N
	Encosta	0.16	0.33	0	N	N
	Escavado	0.41	0.18	0	S	N
	Sopé	0.99	0.08	1	S	N
	Vale	0.26	0.18	0	S	N
Aspectos Climáticos e Altitude	Depressão	1.88	0.01	25	N	N
	Precipitação	0.03	158.34	0	N	N
	Temperatura	0.02	2.17	0	S	N
	Altitude	0.11	258.00	0	S	N
Uso e Cobertura da Terra	Savana Florestada	0.48	0.29	1	N	N
	Savana Parque	0.00	0.00	40	N	S
	Savana Gramíneo lenhosa	1.08	0.05	17	N	N
	Vereda	2.86	0.05	27	N	N
	Urbano	3.09	0.75	26	S	N
	Pastagem	0.92	0.48	7	N	N
	Agricultura	0.22	0.66	0	S	N
	Eucalipto	6.32	0.08	39	N	S
Tipos de Solos	Latossolo	0.13	0.79	0	N	N
	Cambissolo	0.00	0.00	40	N	S
	Argissolo	4.60	0.10	37	N	N
	Neossolo	0.00	0.00	40	N	S
	Gleissolo	0.00	0.00	40	N	S
	Nitossolo	0.00	0.00	40	N	S
Tipos de Rochas	Areia_Argila	4.08	0.09	37	N	S
	Arenito	1.12	1.00	8	N	N
	Ígnea	0.46	1.00	3	S	N
	Xisto_Filito	0.00	0.00	40	N	S
	Folhelho	0.00	0.00	40	N	S
	Arcóseo_Argilito	0.00	0.00	40	N	S

Tabela 13. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Três Marias. O padrão de destaques segue o padrão da tabela 9.

<i>Subgrupos</i>	<i>Varável</i>	<i>CV</i> (<i>< 0.1</i>)	<i>Distancia</i> <i>Min-Max</i> (<i>< 10%</i>)	<i>Valores 0</i> (<i>> 90%</i>)	<i>Correlação</i> (<i>> 0.7 </i>)	<i>Correlação com</i> <i>variáveis</i> <i>explicativas</i> <i>baixo (< 0.25)</i>
Parâmetros Morfométricos da Classe Linear	Ord	0.25	-	0	S	N
	L	0.89	-	0	N	N
	Lt	1.02	-	0	S	N
	La	0.82	-	0	S	N
	Is	0.24	-	0	N	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Zonal	A	1.04	-	0	S	N
	P	0.67	-	0	S	N
	Kc	0.11	-	0	S	N
	Kf	1.23	-	0	N	N
	Ic	0.21	-	0	S	N
	Dr	0.82	-	0	S	N
	Dd	0.51	-	0	S	N
	Cm	0.48	-	0	S	N
EPS	0.48	-	0	S	N	
Parâmetros Morfométricos da Classe Hipsométrica	Ir	0.78	-	0	S	N
	H	0.47	-	0	N	N
	Dm	0.49	-	0	S	N
	Gcp	0.76	-	0	S	N
	Rr	0.66	-	0	S	N
	Icon	0.88	-	0	N	N
Curvatura Plana	HI	0.29	-	0	N	N
	Convergente	0.07	0.11	0	S	N
	Planar	0.27	0.14	0	S	N
Curvatura Perfil	Divergente	0.10	0.07	0	S	N
	Convexa	0.16	0.08	0	S	N
	Retilínea	0.23	0.15	0	S	N
Curvatura Geral	Côncava	0.14	0.08	0	S	N
	Conver_Conv	0.48	0.05	0	S	N
	Plan_Conv	0.17	0.03	0	S	N
	Diverg_Conv	0.15	0.04	0	S	N
	Conver_Retil	0.17	0.04	0	S	N
	Plan_Retil	0.38	0.10	0	S	N
	Diverg_Retil	0.17	0.03	0	S	N
Conver_Conca	0.12	0.05	0	S	N	

	Plan_Conca	0.17	0.03	0	N	N
	Diverg_Conca	0.54	0.04	0	S	N
Declividade	Plano	0.75	0.12	1	S	N
	Suave Ondulado	0.46	0.45	0	S	N
	Ondulado	0.41	0.40	0	N	N
	Forte Ondulado	1.62	0.23	5	S	N
	Montanhoso	2.55	0.02	28	S	N
	Escarpado	4.60	0.00	37	N	N
Orientação das Vertentes	Norte	0.29	0.51	0	N	N
	Leste	0.31	0.39	0	S	N
	Sul	0.32	0.48	1	S	N
	Oeste	0.27	0.58	0	S	N
Geomorphons	Plano	1.56	0.10	2	N	N
	Pico	0.94	0.03	2	N	N
	Crista	0.61	0.12	0	S	N
	Ressalto	0.59	0.21	0	S	N
	Crista Secundária	0.34	0.17	1	N	N
	Encosta	0.32	0.33	0	N	N
	Escavado	0.33	0.18	0	N	N
	Sopé	0.78	0.08	1	N	N
	Vale	0.31	0.18	0	S	N
	Depressão	1.88	0.01	13	S	N
Aspectos Climáticos e Altitude	Precipitação	0.06	158.34	0	N	N
	Temperatura	0.02	2.17	0	N	N
	Altitude	0.10	258.00	0	S	N
Uso e Cobertura da Terra	Savana Florestada	0.81	0.29	0	S	N
	Savana Parque	1.07	0.00	3	N	N
	Savana Gramíneo lenhosa	0.87	0.05	4	N	N
	Vereda	2.37	0.05	21	N	N
	Urbano	5.30	0.75	37	N	S
	Pastagem	0.45	0.48	0	N	N
	Agricultura	1.37	0.66	11	N	N
	Eucalipto	1.25	0.08	14	N	N
Tipos de Solos	Latossolo	1.08	0.79	13	S	N
	Cambissolo	0.55	0.00	2	N	N
	Argissolo	0.00	0.10	40	N	S
	Neossolo	3.10	0.00	35	N	N
	Gleissolo	0.00	0.00	40	N	S
	Nitossolo	0.00	0.00	40	N	S
Tipos de Rochas	Areia_Argila	1.08	0.09	12	N	N
	Arenito	3.56	1.00	37	N	N
	Ígnea	0.00	1.00	40	N	S
	Xisto_Filito	0.00	0.00	40	N	S
	Folhelho	0.96	0.00	14	N	N
	Arcóseo_Argilito	1.65	0.00	23	N	N

Tabela 14. Variáveis explicativas selecionadas para o modelo explicativo da unidade hidrológica de Pandeiros. O padrão de destaques segue o padrão da tabela 9.

<i>Subgrupos</i>	<i>Varável</i>	<i>CV</i> (<i>< 0.1</i>)	<i>Distancia</i> <i>Min-Max</i> (<i>< 10%</i>)	<i>Valores 0</i> (<i>> 90%</i>)	<i>Correlação</i> (<i>> 0.7 </i>)	<i>Correlação com</i> <i>variáveis</i> <i>explicativas</i> <i>baixo (< 0.25)</i>
Parâmetros Morfométricos da Classe Linear	Ord	0.17	-	0	S	N
	L	0.80	-	0	S	N
	Lt	1.22	-	0	S	N
	La	0.73	-	0	S	N
Parâmetros Morfométricos da Classe Zonal	Is	0.15	-	0	N	N
	A	1.27	-	0	S	N
	P	0.75	-	0	S	N
	Kc	0.10	-	0	S	N
	Kf	0.54	-	0	N	N
	Ic	0.21	-	0	S	N
	Dr	0.45	-	0	N	N
	Dd	0.25	-	0	S	N
	Cm	0.27	-	0	S	S
	EPS	0.27	-	0	S	S
Parâmetros Morfométricos da Classe Hipsométrica	Ir	0.32	-	0	S	N
	H	0.27	-	0	S	N
	Dm	0.16	-	0	S	N
	Gcp	0.35	-	0	N	N
	Rr	0.41	-	0	S	N
	ICon	1.02	-	0	N	N
Curvatura Plana	HI	0.15	-	0	N	N
	Convergente	0.04	0.06	0	N	N
	Planar	0.07	0.14	0	S	N
Curvatura Perfil	Divergente	0.04	0.07	0	N	N
	Convexa	0.12	0.08	0	N	N
	Retilínea	0.14	0.15	0	S	N
Curvatura Geral	Côncava	0.12	0.08	0	S	N
	Conver_Conv	0.13	0.05	0	S	N
	Plan_Conv	0.07	0.03	0	S	N
	Diverg_Conv	0.05	0.04	0	S	N
	Conver_Retil	0.12	0.04	0	N	N
	Plan_Retil	0.14	0.10	0	S	N
	Diverg_Retil	0.07	0.03	0	S	N
	Conver_Conca	0.06	0.05	0	S	N
	Plan_Conca	0.06	0.03	0	S	N
Diverg_Conca	0.18	0.04	0	S	N	
Declividade	Plano	0.57	0.12	0	S	N
	Suave Ondulado	0.08	0.45	0	S	N
	Ondulado	0.39	0.40	0	S	N

	Forte Ondulado	1.01	0.23	0	S	N
	Montanhoso	1.18	0.02	18	N	N
	Escarpado	2.23	0.00	28	N	N
Orientação das Vertentes	Norte	0.12	0.51	0	S	N
	Leste	0.08	0.39	0	N	N
	Sul	0.09	0.48	0	N	N
	Oeste	0.09	0.58	0	S	N
Geomorphons	Plano	1.14	0.10	2	S	N
	Pico	0.80	0.03	0	S	N
	Crista	0.17	0.12	0	S	N
	Ressalto	0.19	0.21	0	N	N
	Crista Secundária	0.18	0.17	0	S	N
	Encosta	0.20	0.33	0	N	N
	Escavado	0.13	0.18	0	N	S
	Sopé	0.20	0.08	0	N	N
	Vale	0.22	0.18	0	N	N
	Depressão	0.58	0.01	1	N	N
Aspectos Climáticos e Altitude	Precipitação	0.03	158.34	0	S	N
	Temperatura	0.01	2.17	0	S	N
	Altitude	0.11	258.00	0	S	N
Uso e Cobertura da Terra	Savana Florestada	0.84	0.29	0	N	S
	Savana Parque	0.48	0.00	7	S	N
	Savana Gramíneo lenhosa	0.93	0.05	9	N	N
	Vereda	0.00	0.05	40	N	S
	Urbano	1.72	0.75	25	N	N
	Pastagem	0.34	0.48	0	N	N
	Agricultura	1.40	0.66	10	S	N
	Eucalipto	1.43	0.08	21	S	N
Tipos de Solos	Latossolo	0.61	0.79	1	S	N
	Cambissolo	0.71	0.00	6	N	N
	Argissolo	2.48	0.10	30	N	N
	Neossolo	0.50	0.00	2	N	N
	Gleissolo	1.18	0.00	16	N	N
	Nitossolo	0.00	0.00	40	N	S
Tipos de Rochas	Areia_Argila	0.96	0.09	5	N	N
	Arenito	0.38	1.00	0	S	N
	Ígnea	1.03	1.00	11	N	N
	Xisto_Filito	3.99	0.00	35	N	N
	Folhelho	0.00	0.00	40	N	S
	Arcóseo_Argilito	6.32	0.00	39	N	N