

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E
VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NO ENTORNO DO CENTRO
NACIONAL DE PESQUISA MILHO E SORGO -
SETE LAGOAS/MG**

Daniela Alcântara Machado

Belo Horizonte

2011

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E
VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NO ENTORNO DO CENTRO
NACIONAL DE PESQUISA MILHO E SORGO - SETE
LAGOAS/MG**

Daniela Alcântara Machado

Daniela Alcântara Machado

**CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E
VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NO ENTORNO DO CENTRO
NACIONAL DE PESQUISA MILHO E SORGO - SETE
LAGOAS/MG**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição

Orientador: Prof. Celso de Oliveira Loureiro

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2011

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

AGRADECIMENTOS

Um dos segredos da vida está em descobrirmos que não sou ‘eu’ quem faz ‘tudo’ e sim somos ‘nós’. Dependendo do tamanho do nosso sonho e do nosso mérito, surgirão pessoas em quantidade proporcional para nos ajudar a concretizá-lo.

Quando abraçamos um sonho podemos dizer que somos catalisadores de múltiplos agentes que escolhem dar a mão ao mesmo propósito, ou a você, e só assim é que ele pode se tornar uma realidade. Cada um cumpre com seu papel e a responsabilidade passa a ser de todos, as dores e os louros também.

Quanto à minha parte porque eu acharia que não conseguiria, o ser humano tem um enorme potencial esperando para ser utilizado e desenvolvido, portanto, gosto de sempre repetir: “Eu posso, é claro que eu posso! E se eu não souber, aprendo ou delego”.

Agradeço, com muito carinho, a todas as pessoas que com seus conhecimentos e voluntarismo me ajudaram a concretizar este projeto. Em especial agradeço:

À Deus, pai de infinita bondade, pelas oportunidades que me concedeu desde o início da realização deste trabalho. Muito Obrigada Senhor, por ter me dado à sabedoria e disposição para chegar até aqui, abençoando – me sempre.

Aos meus amados pais, José Christiano e Conceição, pela educação, carinho, amor e incentivo indispensáveis em todos os momentos. Ao meu sobrinho Rodrigo, que enche a minha vida de alegria e isso me estimula. Ao Fernando, por ter me incentivado a dar continuidade aos meus estudos, pelo amor, paciência e compreensão.

Ao meu orientador Prof. Celso Loureiro, exemplo de profissionalismo e humanidade. Palavras não serão suficientes para demonstrar toda a minha gratidão, mas fica o reconhecimento de que foi um privilégio poder desfrutar, ao longo desses anos, de toda a sua experiência e motivação na condução de um trabalho científico.

Aos professores do Programa de Pós – Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelos ensinamentos. À secretária Iara, pelo pronto atendimento às diversas solicitações e amizade.

Aos meus eternos amigos Marcela, Thiago, Cris e Lucélia que com tanto afeto sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e dando forças para que eu continuasse minha caminhada.

Ao Eduardo de Castro e Edilene pelo apoio, incentivo, por dividir comigo todas as angústias que surgiram no decorrer desta pesquisa, pelas sugestões para poder melhorá-la e, principalmente, pelos inesquecíveis momentos que passamos juntos nas idas e vindas à EMBRAPA. À Isabel Saraiva, Fábio e Claudio, pelas trocas de experiências e conselhos, e ao Fabrício pelo apoio referente às questões cartográficas.

À EMBRAPA Milho e Sorgo, representada pelos funcionários João Herbert, Gisela e Carla pelas valiosas informações referentes à caracterização da área de estudo, ao funcionário Leonardo Carvalho e ao amigo Geraldo Vieira pelo apoio durante os trabalhos de campo.

À COPASA pelo apoio técnico dado por seus funcionários Carlos Alberto e Fernando Carneiro. Ao IGAM pela parceria neste projeto.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

A pesquisa desenvolvida busca contribuir para um melhor entendimento do sistema hidrogeológico e da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas à contaminação no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo (CNPMS), pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), localizado no município de Sete Lagoas – MG.

Inicialmente, foi realizada uma caracterização geral da área de estudo a partir de dados da literatura e através de trabalhos de campo. Na etapa de reconhecimento da área de estudo foram realizadas visitas aos principais locais de interesse hidrogeológico, como cursos d'água, lagoas, nascentes, poços tubulares e cisternas. Os trabalhos de campo envolveram a execução de furos de sondagem utilizando trado manual e mecânico, realização de medida da infiltração de água no solo com permeâmetro de Guelf, acompanhamento da perfuração e instalação da rede de poços de monitoramento hidrogeológico e da qualidade da água subterrânea e medição do nível d'água nos poços de monitoramento.

Esse conjunto de dados, obtidos na fase inicial, foi utilizado para a caracterização do modelo de circulação hídrica subterrânea. O modelo hidrogeológico conceitual apresentou as principais unidades hidroestratigráficas e condições de fluxo da água subterrânea. A partir desse modelo foi desenvolvido o modelo hidrogeológico computacional, utilizando o aplicativo *Visual MODFLOW*, capaz de descrever o comportamento hidrodinâmico das águas subterrâneas no entorno do CNPMS.

A avaliação preliminar da vulnerabilidade de contaminação das águas subterrânea foi realizada a partir do modelo qualitativo denominado DRASTIC Agrícola. O modelo hidrogeológico computacional também foi utilizado para simular cenários de contaminação a partir das áreas de cultivo agrícola no CNPMS. O modelo hidrogeológico computacional indicou que o sentido principal do fluxo d'água subterrânea é dos divisores de água local em direção aos córregos Jequitibá e Matadouro. O índice DRASTIC Agrícola apresentou cinco classes de vulnerabilidade: baixa, moderada, alta, muito alta e extrema, predominando a classe muito alta (26 Km² ou 34 % da área avaliada), associada às regiões próximas aos córregos Jequitibá e Matadouro.

ABSTRACT

The present research aims at contributing to a better understanding of the hydrogeological system and the natural vulnerability to contamination of the groundwater around the National Research Center on Corn and Sorghum (Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – CNPMS), which belongs to the Brazilian Agricultural Research Company (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA), located in the city of Sete Lagoas – MG.

At first, a general characterization of the study area was made using data from field work and literature. During that reconnaissance stage of the work several visits were made to the site, with hydrogeological interest, such as water courses, lakes, springs, wells and cisterns. Field work involved soil and geological probing using manual and mechanical piercers, measurement of water infiltration in the soil with a Gueff permeameter, follow up on the drilling and mounting of the hydrogeological monitoring wells network, and measurements of groundwater quality and potentiometry in the monitoring wells.

The set of data obtained during the initial phase was used to characterize the subsurface hydric circulation model. The conceptual hydrogeological model presented the main hydrostratigraphic units and groundwater flow conditions. From this model the computational hydrogeological model was developed, using the application *Visual MODFLOW*, which is capable of describing the hydrodynamic behavior of the groundwater around the CNPMS.

Preliminary evaluation of the local groundwater contamination vulnerability was made with basis on the qualitative procedure denominated DRASTIC Agricultural Model. The computational hydrogeological model was also used to simulate contamination scenarios defined at several the agricultural areas on the CNPMS. The computational hydrogeological model indicated that the main groundwater flow direction is from the local watersheds towards Jequitibá and Matadouro streams. The DRASTIC Agricultural index showed five vulnerability classes: low, moderate, high, very high and extreme, with a predominance of the very high class (26 Km² or 34% of the assessed area), associated with the regions near the Jequitibá and Matadouro streams.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XIII
ANEXOS	XIV
SIGLAS E ABREVIACÕES	XV
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 JUSTIFICATIVA	4
4 METODOLOGIA	6
4.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO	6
4.2 TRABALHOS DE CAMPO.....	6
4.3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	7
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO DE CIRCULAÇÃO HÍDRICA SUBTERRÂNEA	8
4.5 AVALIAÇÃO PRELIMINAR DA VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO.....	8
5 APRESENTAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA	10
6 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
6.1 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	12
6.2 FONTES POTENCIAIS DE ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	12
6.2.1 <i>Águas Subterrâneas e suas Relações com as Atividades Agrícolas</i>	14
6.3 CONCEITOS DE HIDROGEOLOGIA APLICADOS AOS ESTUDOS DE VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS	16
6.3.1 <i>Zona Vadosa</i>	16
6.3.2 <i>Transporte</i>	18
6.3.3 <i>Recarga do Aquífero</i>	19
6.4 VULNERABILIDADE E RISCO DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	21
6.4.1 <i>Métodos de Avaliação da Vulnerabilidade e Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas</i> ..	24
6.4.2 <i>Método de Avaliação da Vulnerabilidade - DRASTIC</i>	26
6.4.3 <i>Descrição dos Parâmetros hidrogeológicos DRASTIC, utilizados no modelo</i>	30
6.4.4 <i>Sistema de Informação Geográfica (SIG)</i>	35
7 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO	36
7.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO	36
7.2 CLIMA	37
7.2.1 <i>Temperatura e Pluviometria</i>	38
7.3 BALANÇO HÍDRICO	39
7.3.1 <i>Evapotranspiração</i>	40
7.3.2 <i>Recarga</i>	46
7.3.3 <i>Equação do Balanço Hídrico</i>	48
7.4 HIDROGRAFIA	49

7.5	SOLOS	53
7.6	CONTEXTO GEOLÓGICO	55
7.6.1	<i>Geologia Regional</i>	55
7.6.2	<i>Geologia Local</i>	57
7.7	CARACTERIZAÇÃO DA SUBSUPERFÍCIE DA ÁREA DE ESTUDO	66
7.7.1	<i>Furos de sondagem</i>	67
7.7.2	<i>Poços de monitoramento</i>	71
7.7.3	<i>Determinação da condutividade hidráulica saturada</i>	78
8	CARACTERIZAÇÃO DO MODELO DE CIRCULAÇÃO HÍDRICA SUBTERRÂNEA	85
8.1	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEITUAL	85
8.1.1	<i>Aquífero Granular</i>	86
8.1.2	<i>Aquífero Cárstico</i>	87
8.1.3	<i>Aquífero Fraturado-Cárstico</i>	88
8.1.4	<i>Aquífero Fraturado</i>	89
8.2	MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL.....	90
8.2.1	<i>Configurações do modelo hidrogeológico computacional</i>	91
8.2.2	<i>Calibração do modelo hidrogeológico computacional</i>	100
8.2.3	<i>Resultados obtidos</i>	106
9	LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DRÁSTIC NA ÁREA DE ESTUDO	109
9.1	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO - D.....	110
9.2	RECARGA - R	111
9.3	MATERIAL DO AQUIFERO - A	112
9.4	TIPO DE SOLO - S.....	113
9.5	TOPOGRAFIA - T.....	114
9.6	INFLUÊNCIA DA ZONA VADOSA - I.....	116
9.7	CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO AQUIFERO - C	117
10	AVALIAÇÃO E MAPA PRELIMINAR DA VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ENTORNO DO CNPMS.....	119
11	CONCLUSÕES	123
12	RECOMENDAÇÕES	126
13	REFERÊNCIAS.....	127

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 6.1: PRINCIPAIS FONTES DE ALTERAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	13
FIGURA 6.2: PRINCIPAIS FENÔMENOS ENVOLVIDOS NO COMPORTAMENTO DOS AGROQUÍMICOS NO MEIO AMBIENTE.....	16
FIGURA 6.3: FIGURA ILUSTRATIVA DOS PARÂMETROS HIDROGEOLÓGICOS AVALIADOS NO MÉTODO DRASTIC.....	28
FIGURA 7.1: IMAGEM ILUSTRATIVA DA LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO CNPMS.....	36
FIGURA 7.2: ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE SETE LAGOAS, INSTALADA NA ÁREA DO CNPMS.....	37
FIGURA 7.3: VARIAÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA MENSAL NA ÁREA DO CNPMS NO PERÍODO DE JANEIRO DE 1960 A DEZEMBRO DE 2009.....	38
(FONTE: INMET – EMBRAPA MILHO E SORGO).....	38
FIGURA 7.4: GRÁFICO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MENSAL.....	39
FIGURA 7.5: VARIAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO ESTIMADO NA REGIÃO DO CNPMS: COMPARAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL, NO PERÍODO DE OUTUBRO DE 1960 A SETEMBRO DE 2010. (FONTE: INMET – EMBRAPA MILHO E SORGO).....	42
FIGURA 7.6: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE PRECIPITAÇÃO E DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL CALCULADA SEGUNDO AS EQUAÇÕES DE L. TURC E DE COUTAGNE, PARA A REGIÃO DO CNPMS.....	46
FIGURA 7.7: TÉCNICAS DE SEPARAÇÃO DOS TIPOS DE ESCOAMENTO. SENDO, MÉTODO 1 – MÉTODO DO ESCOAMENTO FIXO DE BASE; MÉTODO 2 – MÉTODO DA LINHA RETA; MÉTODO 3 – MÉTODO DA INCLINAÇÃO VARIÁVEL. FONTE: TUCCI & BELTRAME (2001).....	47
FIGURA 7.8: IMAGEM ILUSTRATIVA DA DIVISÃO HIDROGRÁFICA NACIONAL E DA LOCALIZAÇÃO DO CNPMS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS.....	50
FIGURA 7.11: 1 - LAGOA DA BAIANA; 2 – VERTEDOURO; 3 - CANAIS DE SAÍDA DA ÁGUA; 4 – CANAL DE IRRIGAÇÃO; 5 – RÉGUA LINIMÉTRICA INSTALADA NO CANAL DE IRRIGARÇÃO.....	52
FIGURA 7.12: DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS NA ÁREA DE INTERESSE DESTA ESTUDO E LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA NO CNPMS.....	54
FIGURA 7.13: COLUNA ESTRATIGRÁFICA DO GRUPO BAMBUÍ (SEGUNDO DARDENE, 1978).....	57
FIGURA 7.14: MAPA GEOLÓGICO DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO (MODIFICADO DE VIEIRA, 2007), COM A LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	58
FIGURA 7.15: MAPA LITOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	60
FIGURA 7.16: VISTA GERAL DO AFLORAMENTO DO CRISTALINO CONHECIDO COMO PEDREIRA DA PREFEITURA, LOCALIZADO NA FAZENDA DAS PEROBAS – SETE LAGOAS.....	61
FIGURA 7.17: RIBEIRÃO JEQUITIBÁ FLUINDO SOBRE AS ROCHAS DO CRISTALINO.....	62
FIGURA 7.18: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS CICLOS DE SEDIMENTAÇÃO I, II E III.....	63
FIGURA 7.19: AFLORAMENTOS DE CALCÁRIO CARSTIFICADO (GRUTA DA PONTINHA).....	65
FIGURA 7.20: AFLORAMENTO DE METAPELITO NA ÁREA DE ESTUDO.....	66
FIGURA 7.21: TRADO MANUAL E TRADO MECÂNICO UTILIZADOS NA EXECUÇÃO DOS FUROS DE SONDAGEM.....	67
FIGURA 7.23: IMAGEM ILUSTRANDO O NÍVEL DE CASCALHO ENCONTRADO A 4.10 M DE PROFUNDIDADE NO FURO D3.....	70
FIGURA 7.24: SONDA A PERCUSSÃO UTILIZADA NA PERFURAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.....	72
FIGURA 7.25: LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO NA ÁREA DO CNPMS.....	74
FIGURA 7.26: IMAGEM ILUSTRATIVA DO PROCEDIMENTO DE MEDIDA DO NÍVEL D'ÁGUA E O DETALHE DO EQUIPAMENTO UTILIZADO.....	76
FIGURA 7.27: PERFURAÇÃO DO POÇO DE INFILTRAÇÃO.....	79
FIGURA 7.28: ESCOVA CILÍNDRICA UTILIZADA NA FINALIZAÇÃO DO POÇO DE INFILTRAÇÃO.....	79
FIGURA 7.29: FLUXOGRAMA PARA O PADRÃO DE MEDIÇÕES USANDO O PERMEÂMETRO DE GUELPH.....	81
FIGURA 7.30: ESQUEMA DO PERMEÂMETRO DE GUELPH E O EQUIPAMENTO NO POÇO DE INFILTRAÇÃO.....	82
FIGURA 7.31: NÍVEL D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO COMBINADO.....	82
FIGURA 8.1: LIMITES HORIZONTAIS DO MODELO COMPUTACIONAL E SEÇÃO GEOLÓGICA REPRESENTATIVA DA ÁREA DE ESTUDO.....	92
FIGURA 8.2: DETALHE DA MALHA DE CÁLCULO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL NA DIREÇÃO HORIZONTAL.....	93
FIGURA 8.3: DETALHE DO DOMÍNIO VERTICAL E MALHA DE CÁLCULO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL (COLUNA 104 DO MODELO COMPUTACIONAL).....	93
FIGURA 8.4: SÍNTESE DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL.....	95
FIGURA 8.5: REPRESENTAÇÃO EM PLANTA DOS DOMÍNIOS DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS EXISTENTES NA ÁREA MODELADA.....	98

FIGURA 8.6: REPRESENTAÇÃO EM CORTE VERTICAL (SEÇÃO AA` DA FIG. 8.5), DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS EXISTENTES NA ÁREA MODELADA. DIMENSÃO VERTICAL AMPLIADA EM CINCO VEZES.	98
FIGURA 8.7: LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS DE BOMBEAMENTO, ACOMODADOS NO MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL.	100
FIGURA 8.8: DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS UTILIZADOS NA CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROGEOLÓGICO COMPUTACIONAL.	102
FIGURA 8.9: GRÁFICO DE CALIBRAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS D` ÁGUA OBSERVADOS E CALCULADOS PARA A ÁREA MODELADA.	104
FIGURA 9.1: PLANOS DE INFORMAÇÕES QUE FORAM COMBINADOS PARA A CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE.	109
FIGURA 9.2: MAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO PARÂMETRO D: PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO NO ENTORNO DO CNPMS.	111
FIGURA 9.3: MAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO PARÂMETRO A: MATERIAL DO AQUIFERO NO ENTORNO DO CNPMS.	113
FIGURA 9.4: MAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO PARÂMETRO S: TIPO DE SOLO NO ENTORNO DO CNPMS.	114
FIGURA 9.5: MAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO PARÂMETRO T: TOPOGRAFIA NO ENTORNO DO CNPMS.	115
FIGURA 9.6: MAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO PARÂMETRO I: INFLUÊNCIA DA ZONA VADOSA NO ENTORNO DO CNPMS.	117
FIGURA 9.7: MAPA DE CARACTERIZAÇÃO DO PARÂMETRO C: CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA NO ENTORNO DO CNPMS.	118
FIGURA 9.8: MAPA PRELIMINAR DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO NO ENTORNO DO CNPMS.	121
FIGURA 9.9: MAPA PRELIMINAR DA VULNERABILIDADE NATURAL À POLUIÇÃO DO AQUIFERO FREÁTICO NO ENTORNO DO CNPMS COM A LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE CULTIVO AGRÍCOLA.	122

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1: DADOS UTILIZADOS NA ELABORAÇÃO DO MAPA PRELIMINAR DA VULNERABILIDADE DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO ENTORNO DO CNPMS E AS FONTES DE OBTENÇÃO DOS MESMOS.....	9
TABELA 6.1: RELAÇÕES ENTRE ZONA VADOSA E ZONA SATURADA.....	17
TABELA 6.2: NÍVEIS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA, SEGUNDO SEGURA (1997).	22
TABELA 6.3: PARÂMETROS AVALIADOS NOS MÉTODOS MAIS ADOTADOS PARA O MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE.	26
TABELA 6.4: PESO RELATIVO DE CADA PARÂMETRO HIDROGEOLÓGICO DRASTIC E DRASTIC AGRÍCOLA.	28
TABELA 6.5: INTERVALO DE VALORES DO ÍNDICE FINAL DE VULNERABILIDADE, ÍNDICE DRASTIC, E O CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE.	29
TABELA 6.6: INTERVALOS DE PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO E OS RESPECTIVOS VALORES DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO, D_i	30
TABELA 6.7: INTERVALOS DE RECARGA DO AQUÍFERO E OS RESPECTIVOS VALORES DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO, R_i	31
TABELA 6.8: TIPOS DE MATERIAL DO AQUÍFERO E OS RESPECTIVOS VALORES DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO, A_i	31
TABELA 6.9: TIPOS DE SOLOS E OS RESPECTIVOS VALORES DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO, S_i	32
TABELA 6.10: INTERVALOS DA DECLIVIDADE DO TERRENO E OS RESPECTIVOS VALORES DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO, T_i	33
TABELA 6.11: TIPOS DE MATERIAIS DA ZONA VADOSA E OS RESPECTIVOS VALORES DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO, I_i	34
TABELA 6.12: INTERVALOS DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA E OS RESPECTIVOS VALORES DO ÍNDICE DE AVALIAÇÃO, C_i	34
TABELA 7.1: EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL MÉDIA ANUAL ESTIMADA PARA A REGIÃO DO CNPMS – AVALIAÇÃO FEITA SEGUNDO AS EQUAÇÕES DE L. TURC E DE COUTAGNE. FONTE: INMET.	45
TABELA 7.2: ESCOAMENTO SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEO CALCULADOS PELO MÉTODO GRÁFICO DA LINHA RETA PARA AS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS INSTALADAS NA ÁREA.	48
TABELA 7.3: CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS FUROS DE SONDAGENS.....	68
TABELA 7.4: DADOS CADASTRAIS DOS POÇOS DE MONITORAMENTO.	73
TABELA 7.5: MEDIDAS DE NÍVEL D'ÁGUA REALIZADAS NAS CAMPANHAS DE ABRIL E OUTUBRO DE 2010.....	77
TABELA 7.6: GRANDEZAS MEDIDAS E CALCULADAS EM CAMPO.	80
TABELA 7.7: LOCAL DAS MEDIÇÕES E CONDUTIVIDADES HIDRÁULICAS.	84
TABELA 8.1: UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS E VALORES DAS CONDUTIVIDADES HIDRÁULICAS (K) UTILIZADAS COMO REFERÊNCIA NESTE TRABALHO.	97
TABELA 8.2: DISTRIBUIÇÃO DAS CORES NO MODELO PARA CADA UNIDADE HIDROESTRATIGRÁFICA.....	97
TABELA 8.3: IDENTIFICAÇÃO DOS POÇOS DE BOMBEAMENTO COM SUAS RESPECTIVAS VAZÕES MÉDIAS.....	99
TABELA 8.4: VALORES DE CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA (K) ADOTADOS PARA CADA UMA DAS UNIDADES HIDROESTRATIGRÁFICAS APÓS A CALIBRAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL.	101
TABELA 8.5: COMPARAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS D'ÁGUA MONITORADOS E OS CALCULADOS PELO MODELO.	103
TABELA 8.6: RELAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE VAZÃO NOS CÓRREGOS NO CNPMS, VAZÃO MONITORADA E VAZÃO CALCULADA PELO MODELO NUMÉRICO.....	105
TABELA 9.1: CLASSES DE VALORES DE PESOS E ÍNDICES DE PONDERAÇÃO CORRESPONDENTES À PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA.....	110
TABELA 9.2: DESCRIÇÃO DO MATERIAL DO AQUÍFERO E SEUS RESPECTIVOS PESOS E ÍNDICES DE AVALIAÇÃO.	112
TABELA 9.3: CLASSES DE VALORES DE DECLIVIDADE E SEUS RESPECTIVOS PESOS E ÍNDICES DE AVALIAÇÃO... ..	114
TABELA 9.4: VALORES CORRESPONDENTES AOS PESOS E ÍNDICES DE AVALIAÇÃO PARA OS MATERIAIS QUE COMPÕEM A ZONA VADOSA.	116
TABELA 9.5: VALORES CORRESPONDENTES AOS PESOS E ÍNDICES DE AVALIAÇÃO PARA A CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA.	117
TABELA 9.6: CLASSES DE VULNERABILIDADE PARA A ÁREA DE ESTUDO.	119

ANEXOS

ANEXO I – TABELAS

TABELA 7.1: Temperatura média mensal no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

TABELA 7.2: Precipitação pluviométrica mensal no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

TABELA 7.3: Evapotranspiração Potencial no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

TABELA 8.1: Cadastro dos pontos d'água no entorno do CNPMS.

ANEXO II

Descrição qualitativa dos horizontes dos perfis e arquivos gráficos dos furos de sondagem (Trabalhos de campo realizados de janeiro a março de 2010).

ANEXO III

Resultados obtidos das medidas de infiltração de água no solo utilizando o permeâmetro de Guelf (Trabalhos de campo realizados de janeiro a março de 2010).

ANEXO IV

FIGURA 8.11: Localização das áreas de cultivo agrícola, linhas de fluxo, pontos de monitoramento, geologia, drenagens e lagoas no CNPMS.

ANEXO V

Dados construtivos e perfis litológicos dos poços de monitoramento hidrogeológico e da qualidade da água subterrânea no CNPMS.

SIGLAS E ABREVIações

DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

CNPMS – Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

SIG – Sistema de Informação Geográfica

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo está inserido no contexto do projeto intitulado “Estudo Hidrogeológico Ambiental no entorno da área experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo em Sete Lagoas – Minas Gerais: Investigação do comportamento do Nitrato e Atrazina, no solo e na água subterrânea” (CASTRO & LOUREIRO, 2008).

Este projeto de pesquisa, de natureza hidrogeológica ambiental, foi estabelecido através de um convênio firmado entre o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-DESA/UFMG, o Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - CNPMS, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, a Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM.

No CNPMS, fundado em 1976, são desenvolvidas atividades de pesquisa científica e tecnológica relacionadas, principalmente, ao cultivo de milho e sorgo, no que tange à produtividade, uso do solo, irrigação, manejo de pragas e doenças e desenvolvimento de tecnologias associadas (NOGUEIRA, 2003).

O CNPMS está inserido na região cárstica da Província Hidrogeológica do São Francisco. Peculiaridades envolvendo os aquíferos cársticos têm justificado inúmeros estudos realizados em suas áreas de ocorrência, visto que esses aquíferos apresentam grande importância como fonte de água para abastecimento, mas também são vulneráveis à contaminação.

Como fornecedor de tecnologia na área de manejo e uso do solo, e tendo em vista a crescente preocupação com a proteção dos mananciais hídricos (superficial e subterrâneo), o CNPMS tem voltado suas atenções para o tema. Esse fato pode ser constatado pela análise do plano diretor da instituição que possui, como uma de suas metas, o desenvolvimento de tecnologias referentes à captação e uso da água considerando novos paradigmas, como a proteção do meio ambiente (EMBRAPA, 2005).

A utilização sustentável dos recursos hídricos implica na adoção de medidas de gestão adequadas, que evitem a degradação desses recursos e que permitam a sua proteção, especialmente em zonas sujeitas ao maior risco de poluição.

A agricultura em grande escala requer o uso intensivo de agroquímicos para potencializar a qualidade e produtividade das plantações. No entanto, além dos problemas de saúde associados diretamente à manipulação inadequada dos agrotóxicos, o uso excessivo dessas substâncias pode gerar diversos danos ambientais, pois eles atingem diretamente os recursos naturais: solo, água e ar.

As questões referentes à preservação dos mananciais hídricos subterrâneos dependem das atividades que são adotadas em superfície, uma vez que existem inúmeros sistemas de comunicação entre o solo e as águas subterrâneas e superficiais. Neste contexto, as atividades de origem agrícola oferecem riscos à qualidade das águas subterrâneas, principalmente pelo uso de agroquímicos (fertilizantes e herbicidas), e seus metabólitos que podem contaminar as águas subterrâneas e superficiais.

A crescente importância das águas subterrâneas para o abastecimento público e para a produção econômica tem forçado os governos a estabelecerem programas efetivos de proteção da qualidade dos aquíferos. E, neste contexto, tem-se notado a popularização do uso e do próprio desenvolvimento de técnicas de avaliação do risco ambiental, como, por exemplo, a avaliação e mapeamento da vulnerabilidade de contaminação de aquíferos.

A avaliação da vulnerabilidade em áreas onde existe um potencial de contaminação da água subterrânea apresenta-se útil na medida em que pode auxiliar na priorização das diversas atividades de monitoramento ambiental. Pode-se, por exemplo, através da utilização de mapas de vulnerabilidade, definir áreas onde o monitoramento deva ser executado de maneira mais intensiva, bem como auxiliar no planejamento de práticas conservacionistas visando à definição de áreas que devam ser protegidas de modo a garantir a integridade do aquífero em termos de qualidade da água.

Para tanto, a identificação dos riscos de contaminação da água subterrânea, considerando os aspectos físicos, geológicos, clima, a atividade agrícola e os agroquímicos utilizados, compõem um importante instrumento de gestão ambiental que visa à proteção dos mananciais subterrâneos.

2 OBJETIVOS

Os objetivos geral e específicos desse trabalho estão descritos nos itens seguintes.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é fazer uma caracterização hidrogeológica e avaliação preliminar da vulnerabilidade à contaminação das águas subterrâneas no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – CNPMS em Sete Lagoas/MG.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos estabelecidos para este estudo são:

- elaborar uma cartografia de base para área de estudo;
- caracterizar as condições ambientais da área de estudo;
- rever e reformular o modelo hidrogeológico conceitual representativo da região do CNPMS, e de seu entorno, incorporando as novas informações e concepções geológicas, pedológicas e hidrogeológicas sobre o local;
- refinar o modelo hidrogeológico computacional, já existente, readaptando-o e complementando-o de acordo com as novas concepções do respectivo modelo conceitual;
- definir as zonas vulneráveis à contaminação no entorno do CNPMS; e,
- produzir um mapa preliminar de vulnerabilidade e de risco potencial à contaminação da água subterrânea na área em estudo.

3 JUSTIFICATIVA

Os recursos hídricos subterrâneos são importantes fontes de água doce para o atendimento das demandas no abastecimento público e industrial, principalmente frente aos diversos fatores ambientais, como as alterações climáticas, fontes escassas de água doce na superfície, fontes de água contaminadas, dentre outros.

Embora sendo naturalmente mais protegidas do que as águas superficiais, as águas subterrâneas não estão a salvo da poluição, e o seu aproveitamento envolve um planejamento técnico criterioso, com base no conhecimento de cada ambiente onde se localizam e de suas condições de circulação. E, desta maneira, dependendo da sua natureza e localização espacial, os aquíferos podem ter maior ou menor grau de vulnerabilidade. No entanto, quando ocorre a contaminação de um aquífero é invariavelmente muito mais difícil e dispendiosa de ser diagnosticada, monitorada e remediada.

A medida que cresce a utilização desses recursos, cresce também a preocupação com a necessidade de conservação da sua disponibilidade tanto em quantidade como em qualidade. A expansão dos centros urbanos, e o desenvolvimento dos setores agrícola, industrial e mineral, contribuem para a deterioração das águas subterrâneas, através do aumento de fontes potencialmente poluidoras e, conseqüentemente, para o aumento do risco de contaminação (FOSTER *et al.*, 2002).

Os estudos focados na preservação ambiental, na atualidade, preocupam-se cada vez mais com a proteção dos recursos hídricos, em especial os subterrâneos. A exploração de águas subterrâneas vem registrando um expressivo aumento nos últimos anos, a ponto de vários centros urbanos serem abastecidos de forma exclusiva ou complementar por esta fonte (TAVANTI *et al.*, 2009).

A utilização sustentável do recurso hídrico subterrâneo implica na adoção de medidas de gestão adequadas que evitem a degradação desse recurso e que permitam a sua proteção.

Os estudos da vulnerabilidade de aquíferos e das condições de ocorrência e circulação da água subterrânea auxiliam no desenvolvimento e na aplicação dos procedimentos de gestão dos recursos hídricos, no que se refere ao seguinte: proteção e monitoramento das áreas

classificadas como susceptíveis à contaminação; otimização do uso das reservas hídricas disponíveis; proteção das áreas de recarga; e, remediação de aquíferos contaminados.

Neste contexto, o desenvolvimento de pesquisas e metodologias que permitam o conhecimento do potencial hídrico dos aquíferos, das suas características físico-químicas e das suas vulnerabilidades à contaminação, é fundamental para a elaboração de planos mais eficazes de gestão das águas subterrâneas, evitando assim a extração excessiva, o desperdício e a contaminação dos aquíferos.

Atualmente, as avaliações de vulnerabilidade de aquíferos estão sendo realizadas em áreas onde a qualidade da água subterrânea pode estar comprometida, como em regiões onde são desenvolvidas atividades industriais e agrícolas.

O foco principal desta pesquisa é a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas por agroquímicos (em especial nitratos e atrazina), aplicados nos cultivos de milho, sorgo e soja nas áreas experimentais do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – CNPMS, a pelo menos quatro décadas.

A realização deste trabalho envolve questões relevantes para a discussão da preservação do recurso hídrico subterrâneo em locais onde existem fontes potenciais de contaminação da água subterrânea, especificamente, as atividades agrícolas.

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada para a realização deste trabalho consistiu na integração das seguintes atividades: levantamento bibliográfico e cartográfico; trabalhos de campo; caracterização geral da área de estudo; caracterização do modelo de circulação hídrica subterrânea; e, caracterização da vulnerabilidade e do risco de contaminação de aquíferos.

4.1 Levantamento Bibliográfico e Cartográfico

Nesta fase foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica e cartográfica com foco em trabalhos de caracterização da área de estudo e de métodos de avaliação da vulnerabilidade de contaminação de aquíferos.

A revisão das informações existentes, referentes à caracterização da área de estudo, consistiu nas análises das informações sobre a climatologia, balanço hídrico, hidrologia, pedologia, geologia e hidrogeologia da área de estudo.

4.2 Trabalhos de Campo

Inicialmente foi realizado um reconhecimento geral da área de estudo (entorno do CNPMS), com visitas a pontos de interesse para o desenvolvimento deste estudo. Os locais visitados e cadastrados incluíram as nascentes, lagoas, cursos d'água, pontos de captação da água subterrânea (cacimbas e poços tubulares), afloramentos rochosos e as áreas de cultivo agrícola.

Durante os meses de janeiro a março de 2010 foram realizadas, no CNPMS, as seguintes atividades:

- execução de furos de sondagem, utilizando trado manual e mecânico, em diferentes locais da área de estudo, para descrição macroscópica do perfil do solo ou do regolito e localização do nível freático, quando possível;
- realização de medição da infiltração de água, usando o permeâmetro de Guelph, na mesma área em que se realizou a sondagem a trado;
- acompanhamento da perfuração e instalação da rede de poços de monitoramento hidrogeológico e da qualidade da água subterrânea;

- amostragem do material geológico nos furos a trado e nos poços de monitoramento, para futura caracterização física e mineralógica; e,
- medição do nível d'água nos furos de sondagem a trado e nos poços de monitoramento.

Em novembro de 2010, foi realizado pela empresa Mirante Topografia, contratada pela COPASA, o levantamento planialtimétrico dos poços de monitoramento e pontos hidrogeológicos notáveis na área de estudo, incluindo as lagoas, os pontos de monitoramento nos cursos d'água, poços tubulares e cisternas.

Essas atividades objetivaram a obtenção de informações para aprimorar o conhecimento da geologia e da hidrogeologia local e prover informações de interesse para o transporte de contaminantes no ambiente geológico local.

É importante ressaltar que no âmbito do projeto no qual esta pesquisa está inserida, existe um programa de monitoramento da qualidade da água superficial e subterrânea (30 pontos de controle), no entorno do CNPMS, que está sendo conduzido desde 2008 pela COPASA.

4.3 Caracterização Geral da Área de Estudo

A caracterização geral da área de estudo foi realizada por meio das análises dos levantamentos bibliográficos juntamente com os dados obtidos nos trabalhos de campo.

Através dessas informações foi elaborada uma cartografia de base para a área de estudo. O aplicativo utilizado como ferramenta para a análise espacial foi o ArcGIS na versão 9.2 da ESRI. As imagens e dados utilizados para a visualização e elaboração dos mapas temáticos abrangendo as características fisiográficas da área de estudo, foram:

- mapas elaborados por Batista (2009);
- mapas do mapeamento de solos e geológico do Projeto Vida (RIBEIRO *et al.*, 2003);
- mapa da EMBRAPA Solos – Levantamento de solos da área da EMBRAPA Milho e Sorgo;
- acesso ao banco de dados do SIAGAS – CPRM referente ao cadastro dos poços de Sete Lagoas e Prudente de Moraes;

- imagem SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), contendo o Modelo Digital de Elevação – MDE do terreno; e,
- imagens do Google Earth.

4.4 Caracterização do Modelo de Circulação Hídrica Subterrânea

Após a caracterização da área de estudo, foram desenvolvidos os estudos hidrogeológicos envolvendo o modelo hidrogeológico conceitual e o modelo hidrogeológico computacional.

No modelo hidrogeológico conceitual foram então definidos: a área de influência e contornos topográficos do CNPMS; as unidades hidroestratigráficas existentes na área de estudo; e, as áreas de recarga e descarga do aquífero subterrâneo.

Para o desenvolvimento do modelo hidrogeológico computacional foi utilizada a metodologia de Anderson & Woessner (1992), que se resume nas seguintes etapas:

- definição da base topográfica;
- definição do domínio e malha do modelo computacional a partir da avaliação da área de influência do CNPMS e contornos topográficos;
- definição das condições de contorno tais como cargas constantes, fluxo zero e drenos;
- incorporação das unidades hidroestratigráficas definidas no modelo hidrogeológico conceitual;
- atribuição dos valores dos parâmetros hidráulicos, para cada unidade hidroestratigráfica, baseados em dados obtidos em campo e da literatura; e,
- calibração do modelo por meio de ajustes nos valores da recarga e dos parâmetros hidráulicos, utilizando como referência os valores de cota d'água nos poços, cisternas e nascentes, e da vazão nos córregos.

4.5 Avaliação Preliminar da Vulnerabilidade e Risco de Contaminação

O método utilizado para a avaliação e mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas no entorno do CNPMS foi o DRASTIC Agrícola, desenvolvido por Aller *et al.*, (1987).

As informações necessárias para a aplicação do método foram obtidas por meio de investigações de campo e em bases de dados disponíveis em instituições públicas e órgãos de pesquisa. O software utilizado como ferramenta para montagem do mapa preliminar de vulnerabilidade foi o ArcGIS, na versão 9.2, da empresa ESRI.

Um resumo dos dados utilizados para a elaboração do mapa preliminar da vulnerabilidade bem como as fontes de obtenção e usos dos mesmos estão dispostos na TAB. 4.1.

TABELA 4.1: Dados utilizados na elaboração do mapa preliminar da vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea no entorno do CNPMS e as fontes de obtenção dos mesmos.

Tipo de Dado		Fonte	Mapa Base
Profundidade do Lençol Freático	✓	Dados de campo – Medidas do nível d'água nos poços de monitoramento no CNPMS	D – Profundidade do Lençol Freático
Balanco Hídrico (Precipitações médias anuais)	✓	Batista (2009)	R - Recarga
	✓	Dados da estação meteorológica existente no CNPMS, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)	
Mapa Geológico (1:50.000)	✓	Projeto VIDA – Desenvolvido por uma equipe de pesquisadores da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Ribeiro <i>et al.</i> , (2003)	A – Material do Aquífero
Mapa de solos (1: 50.000)	✓	Projeto VIDA - Desenvolvido por uma equipe de pesquisadores da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Ribeiro <i>et al.</i> , (2003)	S – Tipo de Solo
	✓	Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 5 da Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA Milho e Sorgo), Panoso <i>et al.</i> , (2003)	
Imagem de satélite Aster (Resolução 30 m)	✓	Modelo Digital de Elevação da área de estudo obtida através do site: http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/	T – Mapa de Declividade
Dados Litológicos	✓	Dados da descrição dos perfis litológicos dos poços existentes na área de estudo (banco de dados do SIAGAS)	I – Influência da Zona Vadosa
	✓	Dados dos perfis litológicos dos poços de monitoramento no CNPMS (fornecidos pela Hidropoços)	
Condutividade Hidráulica	✓	Dados da Literatura Anderson & Woessner (1992); Pessoa (1996); Silva (2003); e Batista (2009))	C – Condutividade Hidráulica

5 APRESENTAÇÃO DA BIBLIOGRAFIA

O CNPMS está inserido na região cárstica da província hidrogeológica do São Francisco, no Grupo Bambuí. As características de fragilidade ambiental dos ambientes cársticos têm justificado inúmeros estudos realizados em suas áreas de ocorrência, visto que esses ambientes apresentam aquíferos de grande importância como fonte de água para abastecimento.

Para estudos de caráter hidrogeológico é fundamental que a geologia da área de interesse esteja bem definida. Uma das formações geológicas mais estudadas dentro da Bacia do São Francisco é o Grupo Bambuí. Diversos estudos foram realizados com o intuito de realizar a descrição e divisão estratigráfica desse grupo.

A primeira referência que se faz a essa formação geológica, com essa nomenclatura, ocorreu em 1917, realizada por Rimann (1917). A partir daí, diversos pesquisadores propuseram subdivisões das colunas estratigráficas dessa formação com destaque para os trabalhos de Costa & Branco (1961), Barbosa (1965), Oliveira (1967), Braun (1968), Scholl (1976), Dardenne (1978) e Grossi Sad & Quade (1985).

Somando-se aos trabalhos acadêmicos, foram realizados estudos temáticos multidisciplinares por órgãos do governo, como o Projeto Vida - Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental na Região de Sete Lagoas – Lagoa Santa/MG, desenvolvido pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM.

No âmbito do Projeto Vida foram realizados levantamentos referentes à geologia, pedologia, geomorfologia, uso da terra e caracterização da cobertura vegetal envolvendo os municípios de Capim Branco, Funilândia, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Prudente de Moraes, Sete Lagoas e Vespasiano (RIBEIRO *et al.*, 1994 a:d).

Pessoa (1996), simultaneamente à execução do Projeto Vida, realizou uma pesquisa de caracterização hidrogeológica e mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos do município de Sete Lagoas –MG, detalhando a estratigrafia local, as condições de fluxo da água, recarga e descarga de aquíferos e caracterização da qualidade da água.

Tendo em vista a complexidade da hidrogeologia nos terrenos cársticos, essa linha de pesquisa tem se tornado cada vez mais presente nos projetos acadêmicos. Um exemplo disso são os estudos desenvolvidos na região por Silva (2003), Pessoa (2005) e Batista (2009), adaptando novas ferramentas de apoio no entendimento do comportamento hidrogeológico e hidrogeoquímico desses ambientes.

A avaliação da vulnerabilidade natural de contaminação da água subterrânea tem se tornado uma ferramenta importante para a proteção dos aquíferos, principalmente em áreas potencialmente poluidoras. O termo “vulnerabilidade de um aquífero” foi introduzido no Brasil por Foster & Hirata (1988), e de forma geral, é definido como o grau de susceptibilidade que esse aquífero apresenta de sofrer contaminação.

Existem diversas metodologias que vem sendo utilizadas para a avaliação da vulnerabilidade natural de contaminação da água subterrânea, dentre elas, as mais aplicadas são: GOD desenvolvido por Foster & Hirata (1988); DRASTIC e DRASTIC Agrícola desenvolvido por Aller *et al.* (1987); Sintacs desenvolvido por Civita *et al.* (1990); e, AVI desenvolvido por Stempvoort *et al.* (1993).

6 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A base conceitual utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa está descrita nos subitens deste capítulo.

6.1 Recursos Hídricos Subterrâneos

Os recursos hídricos são constituídos pelos mananciais superficiais e subterrâneos. Estes mananciais hídricos se distribuem espacialmente na superfície do planeta terra, interligados hidráulicamente através do ciclo hidrológico, que se refere ao constante movimento da água sobre e sob a superfície da terra, e encontram-se relacionados entre si, uma vez que ocorrem diversos sistemas de interligação entre as águas superficiais e subterrâneas.

Do total de água doce disponível, 97% correspondem aos recursos hídricos subterrâneos, o que por si só evidencia a enorme importância dessas reservas para a humanidade, especialmente com a crescente poluição e o gradual esgotamento dos recursos hídricos.

Em hidrogeologia, de uma forma bastante ampla, define-se água subterrânea como toda e qualquer água existente abaixo da superfície do solo, incluindo a parcela presente na zona não saturada, ou zona vadosa, e a parcela armazenada abaixo do nível freático, presente na zona saturada do solo e das formações geológicas aflorantes, assim como nas formações geológicas profundas totalmente saturadas.

Dependendo da forma de ocorrência da água subterrânea, as reservas hídricas podem ser classificadas em aquíferos porosos e aquíferos fraturados-cársticos. Nos aquíferos porosos a água está contida entre os grãos que compõem a rocha (porosidade primária) e, nos aquíferos fraturados-cársticos, a água está associada à presença de discontinuidades na rocha, responsáveis por uma porosidade secundária (falhas, fraturas e feições de dissolução).

6.2 Fontes Potenciais de Alteração da Qualidade da Água Subterrânea

A qualidade das águas subterrâneas é dada, a princípio, pela evolução química da água subterrânea representada pela dissolução dos minerais presentes nas rochas que constituem os aquíferos por ela percolados, podendo também sofrer a influência de fatores adicionais como a composição da água de recarga, o tempo de contato água/meio físico, o clima, e a poluição causada pelas atividades antrópicas (FOSTER *et al.*, 2002).

A maior parte da água subterrânea se origina a partir da parcela de chuva que se infiltra (diretamente ou indiretamente) na superfície do solo. Como consequência, as atividades que se desenvolvem na superfície podem ameaçar a qualidade da água subterrânea. A atividade humana na superfície do terreno modifica os mecanismos de recarga dos aquíferos e introduz outros, alterando a taxa, a frequência e a qualidade da recarga do aquífero.

A poluição dos aquíferos ocorre nos pontos em que a carga contaminante gerada no solo/subsolo por emissões e lixiviados produzidos pela atividade humana (provenientes de atividades urbanas, industriais, agrícolas e de mineração) é inadequadamente controlada e, em certos componentes, excedem a capacidade de atenuação natural dos solos e das camadas de cobertura dos aquíferos.

A inter relação entre as diferentes atividades antrópicas e as potencialidades e fragilidades do meio físico podem acarretar tanto situações de risco ao homem e a seus empreendimentos, como impactos ambientais que alteram negativamente as características naturais de um ambiente, provocando a degradação das áreas utilizadas e riscos à saúde pública (BROLLO, 2000 apud VOGEL, 2008).

A análise da contaminação está, predominantemente, relacionada com as atividades antrópicas associadas ao uso e ocupação do solo. As fontes de contaminação da água subterrânea podem estar localizadas acima do solo ou acima/abaixo da superfície freática. Na FIG. 6.1 são apresentadas as principais fontes de alteração da qualidade da água subterrânea.

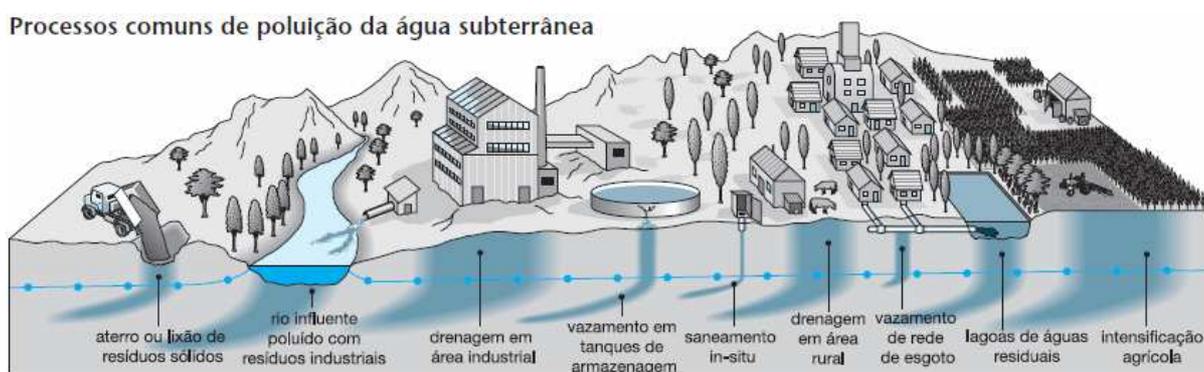


FIGURA 6.1: Principais fontes de alteração da qualidade da água subterrânea.
Fonte: Modificado de Foster *et al.* (2002).

Nota-se que existem várias origens de fontes potenciais de contaminação de um aquífero e/ou das fontes de água subterrânea. O enfoque deste trabalho está direcionado para as atividades agrícolas.

6.2.1 Águas Subterrâneas e suas Relações com as Atividades Agrícolas

O desenvolvimento da agricultura no País, nas duas últimas décadas, está diretamente relacionado ao aumento da área cultivada e da produtividade. A este último fator está associado mais diretamente o uso de agroquímicos (agrotóxicos e pesticidas). Segundo Foster *et al.*, (2002), as atividades agrícolas são capazes de causar uma séria contaminação difusa, sobretudo por nutrientes (nitratos) e, às vezes, por certos agrotóxicos.

Segundo o Decreto 4074/2002 (Brasil, 2002), os agrotóxicos são “produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento”.

Os tipos de atividades agrícolas que geram a mais séria contaminação difusa são os relacionados com monoculturas em áreas extensas. A agricultura que inclui cultivos perenes, normalmente, possui perdas por lixiviação muito menores que as práticas de cultivos estacionais, devido à existência de menor alteração e aeração do solo e também uma demanda mais contínua de nutrientes pelas plantas (FOSTER *et al.*, 2002).

As práticas agrícolas podem intensificar os mecanismos de transporte dos agroquímicos. O uso intensivo de água para irrigação, a remoção da cobertura vegetal, a intensificação do revolvimento mecanizado do solo e o uso desmedido dos agroquímicos são os fatores mais importantes relacionados com a intensificação desses mecanismos.

Os agroquímicos usados na agricultura podem ficar adsorvidos nas partículas dos solos, podem ser transportados pelo escoamento superficial da água da chuva e podem ser transportados através da erosão para os vales, contaminando os corpos d' água.

Aqueles que ficaram adsorvidos no solo podem ser lixiviados pela água até o aquífero, através da infiltração. O agrotóxico presente na água subterrânea pode ser transportado (percolado), juntamente com o fluxo de água subterrânea, originando uma pluma de contaminação que poderá atingir nascentes e corpos d'água superficiais alimentados pelo aquífero, além de cisternas, cacimbas e poços de bombeamento de água.

Os solos e sedimentos funcionam como uma barreira protetora para os outros compartimentos hidráulicos ambientais, e isto se deve à presença de minerais e de matéria orgânica capazes de adsorver os diferentes compostos ou elementos químicos de modo a diminuir a disponibilidade dos mesmos para serem transportados pela água subterrânea. Além disso, a presença de organismos vivos proporciona a degradação de alguns poluentes químicos (LIMA, 2007). Porém, se a capacidade de retenção do solo for alcançada, o risco de contaminação de outros compartimentos ambientais como a biota e os recursos hídricos (principalmente as águas subterrâneas) aumenta.

A intensidade do uso de pesticidas (considerando os efeitos que causam ao meio ambiente e à saúde humana) requer o conhecimento de suas principais propriedades físicas e químicas para prever interações com o solo e a possibilidade de contaminação e transporte, quando dissolvidos em água ou associados aos sedimentos (SANCHES *et al.*, 2003).

Os principais fenômenos envolvidos no comportamento dos agroquímicos no meio ambiente estão apresentados na FIG. 6.2.

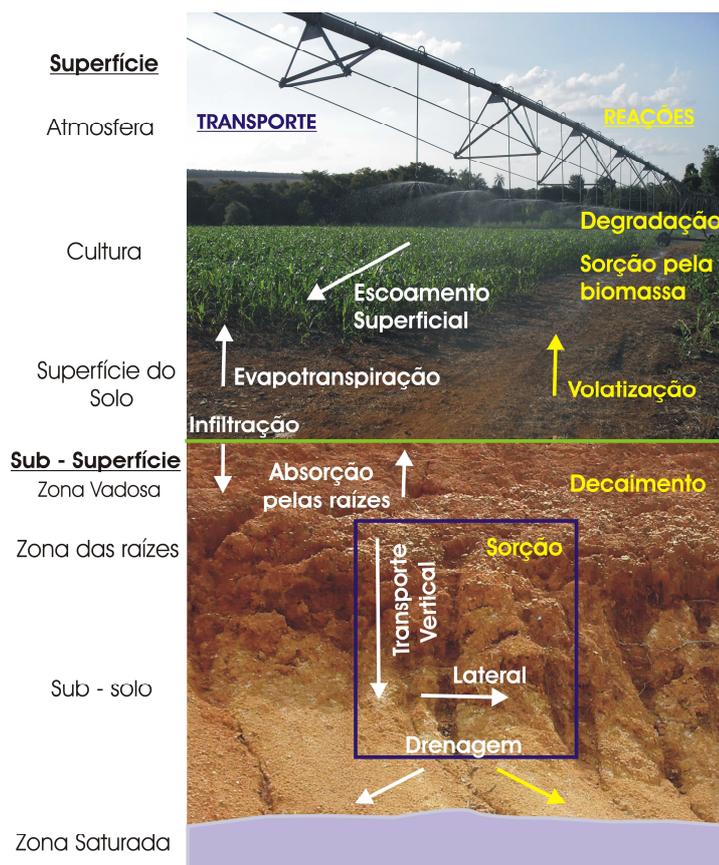


FIGURA 6.2: Principais fenômenos envolvidos no comportamento dos agroquímicos no meio ambiente.

6.3 Conceitos de Hidrogeologia Aplicados aos Estudos de Vulnerabilidade e Risco de Contaminação de Aquíferos

6.3.1 Zona Vadosa

A zona vadosa pode ser descrita como a parcela do meio geológico delimitada entre a superfície do terreno e o nível de água subterrânea do aquífero saturado mais raso. Constitui a zona não saturada do aquífero, composta por diversos tipos de substratos (solo de alteração, coluvionar, aluvionar, orgânico e outros).

Na zona vadosa os vazios do material geológico estão parcialmente preenchidos por gases (ar atmosférico, gases específicos do solo e vapor d'água) e água. É onde ocorre a retenção de poluentes através de processos físicos, químicos e biológicos. Portanto, a compreensão das características naturais da zona vadosa é muito importante para os estudos de vulnerabilidade dos aquíferos a contaminação.

Segundo Foster (1993), o movimento de água na zona vadosa é geralmente lento e ocorre em dois sentidos:

1 – ascendente, induzido pela evapotranspiração e condicionado pela variação do gradiente vertical de sucção (pressão negativa); e,

2 – descendente, proveniente da recarga natural ou antrópica (no caso de uma irrigação do solo ou injeção de água), condicionado pela variação do gradiente vertical da carga hidráulica.

As principais diferenças e relações entre a zona vadosa e a zona saturada do solo, segundo Selker *et al.* (1999), estão apresentadas na TAB. 6.1.

TABELA 6.1: Relações entre zona vadosa e zona saturada.

Fonte: Selker *et al* (2002).

RELAÇÕES ENTRE ZONA VADOSA E ZONA SATURADA		
Semelhanças entre zona vadosa e zona saturada		
Ambas possuem equações de fluxo lineares para gradientes hidráulicos locais		
Ambas são constituídas pelas mesmas composições do meio		
Diferenças	Zona Vadosa	Zona Saturada
Condutividade Hidráulica	Função não linear de acordo com o conteúdo de água	Constante
Efeitos de densidade	Influência pouco efetiva para alterações relacionadas à mudança de temperatura e solução	Tanto a disposição estática quanto a dinâmica são influenciadas pelas alterações de temperatura e solução
Variabilidade espacial	Distribuição lognormal em função da quantidade de água no meio	Distribuição lognormal fixa no tempo
Atividades químicas e biológicas	Geralmente associada a rápidas atividades microbióticas, ricas em carbono e oxigênio	Geralmente sem oxigênio livre e carbono disperso: baixa atividade microbiótica comparativa
Mecanismos de transporte	Advecção 0 - 10 cm/dia Dispersão 0.5 - 20 cm Difusão 0.1 - 0.3 cm ² /s	Advecção 0 - 100 cm/dia Dispersão 0.5 - 20 cm Difusão 0.00002 cm ² /s

O comportamento do fluxo de água dentro da zona vadosa difere-se na variação da condutividade hidráulica de acordo com o grau de saturação do meio, podendo ser expressa pela adaptação da equação da lei de Darcy como:

$$q(\theta) = -K(\theta)\Delta H \quad (1)$$

Na qual, $q(\theta)$ representa a descarga específica de água no meio, dependente do conteúdo volumétrico do meio θ ; $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica, dependente de θ ; e, ΔH o gradiente hidráulico.

6.3.2 Transporte

O fluxo vertical da água e o transporte de contaminantes desde sua fonte na superfície até o nível saturado do aquífero é um processo geralmente muito lento, e em muitos casos, acarreta no atraso de anos e até mesmo décadas para que alguns contaminantes possam ser detectados e mesmo controlados.

Segundo Guymon (1994), apud Russo (2009), existem seis mecanismos que interferem no transporte do soluto pela água subterrânea, dentro da zona vadosa, advecção; dispersão; sorção; transformação química; volatilização; e, retardação.

Advecção é o processo de transporte mais intenso em um meio poroso. Ocorre quando os compostos são dissolvidos na água, na forma de íons ou de compostos neutros, e são conduzidos pela água subterrânea através das suas linhas de escoamento.

Dispersão mecânica é causada pelo deslocamento adicional do solvente na direção transversal ou longitudinal, em relação à linha de escoamento, de acordo com o arranjo dos grãos e a obstrução do caminho em que o fluxo laminar está percorrendo.

Dispersão hidrodinâmica é causada pelo efeito de diferença de velocidade de fluxo local entre poros, aonde as linhas de fluxo próximas aos grãos possuem uma velocidade menor e as linhas mais ao centro dos poros possuem uma velocidade maior.

Sorção (adsorção ou dessorção) é o processo de transferência de massa entre a fase líquida da água e o solo, que ocorre entre a energia estática da superfície do grão e as cargas iônicas de polaridade opostas dissolvidas na água

Transformação química é o processo pelo qual o composto é alterado de acordo com seu transporte no meio geológico, tanto na zona insaturada quanto na zona saturada. Esse processo é relativo ao tempo de exposição, ao tipo do contaminante e ao volume e frequência de descarte do mesmo.

Volatilização de compostos dissolvidos é mais importante quando a contaminação é por compostos voláteis. É o processo que transfere energia do composto em fase líquida para a fase gasosa, podendo ser transportado para fora da zona vadosa, e conseqüentemente, para a atmosfera.

Retardo (ou retardação) é o fenômeno resultante de todos os processos de interação dos compostos solubilizados na água, com os materiais do solo/rocha, os quais promovem um atraso (ou retardo) na velocidade real de deslocamento (ou transporte) dos componentes químicos do meio.

6.3.3 Recarga do Aquífero

A recarga, em geral, representa o somatório de toda a quantidade de água que é incorporada a um determinado aquífero em um dado intervalo de tempo.

Em aquíferos livres, a recarga é direta devido à parcela de infiltração das águas meteóricas que alcança a superfície freática. Além da recarga natural, existem outras formas de recarga dos aquíferos livres, como por exemplo: excesso de irrigação do solo; perdas em sistemas de esgotos e de abastecimento de água; e, corpos d'água (córregos, lagoas, outros) influentes.

Em aquíferos confinados a recarga pode ocorrer de forma direta, através das áreas de afloramento, ou através da percolação da água entre aquíferos livres e confinados.

A percolação profunda da água em regiões úmidas é basicamente controlada pelo potencial de precipitação (pluviometria decrescida da evapotranspiração), a capacidade de infiltração do solo e a capacidade de transporte e armazenamento da zona vadosa. Regiões com baixa

densidade de vegetação, em um solo permeável, ou em rocha fraturada próxima à superfície, junto a altos índices pluviométricos, geram uma condição favorável à recarga.

Os processos de recarga dos aquíferos podem ocorrer através da percolação difusa (tanto no fluxo de água na zona vadosa como nas regiões saturadas), do fluxo em macroporos (através de canais, rachaduras e fissuras), através das diferenciações físicas do solo e variações decorrentes do uso e ocupação do solo, como em regiões urbanas e agrícolas.

Uma das diversas formas de se obter os valores de recarga de um aquífero é a partir do estudo do balanço hídrico da bacia hidrográfica. Considerando um aquífero, em uma bacia hidrográfica, num intervalo de tempo Δt , a equação do balanço hídrico pode ser expressa por:

$$S_i + P + Q_{in} = S_f + ES + ET + Q_{out} + R \quad (2)$$

Na qual:

S_i = reserva inicial, em $[m^3]$;

S_f = reserva final, em $[m^3]$;

P = precipitação meteórica no intervalo Δt , em $[m^3]$;

Q_{in} = aporte total de água no período Δt devido a fontes não meteóricas, tais como, irrigação, injeção de água no solo, perdas em sistemas de esgotos e de distribuição de água, etc, em $[m^3]$;

Q_{out} = retirada total de água, no período Δt , devido a ações adicionais no sistema aquífero, como usos consuntivos de água, em $[m^3]$;

ES = deflúvio superficial, no intervalo Δt , em $[m^3]$;

ET = evapotranspiração total, no intervalo Δt , em $[m^3]$;

R = recarga, no intervalo Δt , em $[m^3]$; e,

Portanto, considerando a equação do balanço hídrico é possível estimar a recarga a partir da Equação 3.

$$R = (P + Q_{in}) - (ES + ET + Q_{out} + \Delta S) \quad (3)$$

6.4 Vulnerabilidade e Risco de Contaminação das águas subterrâneas

Muitas vezes, o nível de contaminação das águas subterrâneas é determinado pelos processos de atenuação natural, que ocorrem na região situada entre a fonte de poluição e o aquífero. Vários processos biológicos, físicos e químicos que ocorrem no solo, na zona não saturada e na zona saturada, podem causar mudanças no estado físico e forma química do poluente (GOGU, 2000). Estas mudanças podem atenuar o grau de poluição ou alterar a natureza da contaminação.

O National Research Center (NRC) em 1993 definiu a vulnerabilidade da água subterrânea a contaminação como: “A tendência ou possibilidade de contaminantes atingirem uma posição específica no sistema da água subterrânea após o impacto em algum ponto acima do aquífero mais próximo à superfície” (SOPER, 2002).

O termo vulnerabilidade em um sentido amplo pode ser atribuído a qualquer elemento ambiental, sendo definido como a sensibilidade que esse elemento possui frente aos impactos de origem natural ou antrópica (VOGUEL, 2008). O termo “vulnerabilidade de um aquífero” foi introduzido no Brasil por Foster & Hirata (1988), e de forma geral, é definido como o grau de susceptibilidade que esse aquífero apresenta de sofrer contaminação.

A vulnerabilidade pode ser analisada em função das características dos materiais que recobrem a zona saturada e que conferem algum grau de proteção às águas subterrâneas contra uma carga contaminante imposta (FOSTER *et al.*, 2002). Essas características do meio consistem na capacidade do mesmo em atenuar e/ou impedir hidraulicamente a chegada de contaminantes vindos da superfície e originados de uma atividade humana. Assim, com base nessas definições, existirá contaminação se:

- os materiais sobrejacentes ao aquífero permitirem hidraulicamente a passagem do poluente que, neste caso, chegaria à zona saturada; e,
- o poluente for quimicamente persistente e tiver concentração suficiente para que possa superar a capacidade de atenuação imposta pelos materiais sobrejacente ao aquífero.

Com base nessas definições, diversos estudos orientadores às companhias de água e saneamento, órgãos de regulamentação ambiental ou de recursos hídricos vêm sendo desenvolvidos em resposta às possíveis questões sobre contaminação e proteção da água

subterrânea. Esses estudos fornecem elementos essenciais e procedimentos padronizados que podem ser adotados para garantir a qualidade da água subterrânea.

Os diversos procedimentos que vêm sendo desenvolvidos para a avaliação da vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea, em geral, possuem duas abordagens:

1 A Avaliação da Vulnerabilidade Natural (ou intrínseca) de um Aquífero

Nessa abordagem, são aplicadas metodologias que levam em consideração, apenas, os aspectos relativos ao ambiente a ser estudado, como: geologia, geomorfologia, espessura da camada não saturada, recarga natural, escoamento superficial, exploração da água e outros; e,

2 A Avaliação da Vulnerabilidade Específica de um Aquífero, Relativa a um Determinado Contaminante

Nessa abordagem, são aplicadas metodologias que associam a vulnerabilidade natural e o risco de contaminação por uma determinada carga poluidora, em potencial, porém específica, a qual poderá acarretar em concentrações de contaminantes na água subterrânea, com valores acima dos padrões de qualidade definidos em lei.

Segura (1997) definiu o conceito de vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação em três níveis. Esses níveis se encontram apresentados de forma sucinta, na TAB. 6.2.

TABELA 6.2: Níveis de avaliação da vulnerabilidade da água subterrânea, segundo Segura (1997).

Nível de Avaliação	Atributos	Determina
1 - Avaliação intrínseca da capacidade natural de atenuação da contaminação, em geral.	Características do solo Condições climáticas e hidrogeológicas	Vulnerabilidade Natural
2 - Avaliação da probabilidade de propagação de um contaminante específico.	Vulnerabilidade Natural + Características do contaminante	Vulnerabilidade Específica
3 - Avaliação da probabilidade de contaminação do aquífero, segundo o critério de qualidade	Vulnerabilidade Específica + Critério de qualidade	Risco de Contaminação do Recurso

Fonte: Modificado de Segura (1997)

O conceito isolado de “vulnerabilidade” deve ser entendido de maneira distinta do conceito “risco de contaminação”. O risco de contaminação depende não só da vulnerabilidade, mas

também da existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo. É possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de poluição (caso não haja carga poluente significativa), ou de haver um elevado risco de poluição, apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo (LEITÃO *et al.*, 2003).

Assim, o risco de poluição é causado não apenas pelas características intrínsecas do aquífero, mas também pela existência de atividades poluidoras.

A definição hidrogeológica da vulnerabilidade é uma composição de todos os fatores geológicos e hidrológicos que afetam e/ou controlam o movimento da água subterrânea dentro e fora de uma determinada área. Segundo Bós (2008), os condicionantes dos aquíferos que tem estreita ligação com a sua vulnerabilidade à poluição são:

- **Tipo de aquífero:** os aquíferos rasos ou não-confinados são mais vulneráveis do que os confinados ou semi-confinados. Aquíferos porosos são menos vulneráveis dos que os fissurais e, entre estes, os mais vulneráveis são os cársticos;
- **Espessura da zona de aeração:** como esta zona atua como um reator físico-químico e biológico, sua espessura tem papel importante. Espessuras maiores permitirão maior tempo de filtração, além do que aumentarão o tempo de exposição do poluente aos agentes oxidantes e adsorventes presentes na zona de aeração;
- **Profundidade do nível estático:** a profundidade do lençol freático define a distância vertical que um contaminante tem que atravessar para chegar ao aquífero. Quanto maior a profundidade, menor é a probabilidade do contaminante chegar ao aquífero. Com isso, quanto maior for a profundidade do lençol freático, menor será a vulnerabilidade.
- **Permeabilidade da zona de aeração e do aquífero:** a permeabilidade hidráulica da zona de aeração é uma propriedade fundamental quando se pensa em poluição. Uma zona de aeração impermeável, ou pouco permeável, é uma barreira à penetração de poluentes no aquífero. Aquíferos extensos podem estar parcialmente recobertos por camadas impermeáveis em algumas áreas, enquanto, em outras, acontece o inverso. Áreas de maior permeabilidade atuam como zonas de recarga e permitem uma rápida dissipação da poluição. O avanço da pluma de contaminação poderá ser acelerado pela

exploração do aquífero, na medida em que aumenta a velocidade do fluxo subterrâneo em direção às áreas onde está havendo a retirada de água;

- **Componentes do solo:** em algumas áreas, a contaminação dos aquíferos ocorre de forma natural, como por exemplo, a contaminação por arsênio e altas concentrações de sais;
- **Teor de matéria orgânica:** a matéria orgânica tem grande capacidade de adsorver uma gama variada de metais pesados e moléculas orgânicas;
- **Tipo dos óxidos e minerais de argila existentes no solo:** sabe-se que estes compostos, por suas cargas elétricas superficiais, predominantemente negativas, tem grande capacidade de reter uma série de elementos e compostos.
- **Reações químicas e biológicas:** um poluente após atingir o solo, poderá passar por uma série de reações químicas, bioquímicas, fotoquímicas e inter-relações físicas com os constituintes do solo antes de atingir a água subterrânea. Estas reações poderão neutralizar, modificar ou retardar a ação poluente. Em muitas situações, a biotransformação e a decomposição ambiental dos compostos podem conduzir a formação de produtos com características diferentes das originais, podendo se transformar em um componente mais ou menos persistente.

Segundo Bovolato (2006), *apud* Bós (2008), a avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação constitui-se em um dos aspectos de maior importância para subsidiar o planejamento de uso do solo e para gerenciar a instalação e o funcionamento de empreendimentos potencialmente impactantes aos recursos hídricos subterrâneos.

6.4.1 Métodos de Avaliação da Vulnerabilidade e Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas

Os métodos adotados para a avaliação da vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea, segundo Vrba e Zaporozec (1995), *apud* Foster *et al.* (2002), podem ser classificados em dois grupos:

- 1 **Modelos Análogos:** utilizam expressões matemáticas para os parâmetros essenciais (por exemplo: tempo de trânsito médio na zona vadosa), como indicadores do índice de vulnerabilidade; e,

- 2 **Sistemas Paramétricos/Ambientes hidrogeológicos:** usam parâmetros selecionados como indicadores de vulnerabilidade e aplicam seu espectro de valores e interações para produzir, de alguma forma, um índice de vulnerabilidade, podendo ser reproduzidos em mapas temáticos.

Segundo Gogu e Dassargues (2000), existem três principais abordagens que podem ser adotadas para a avaliação da vulnerabilidade, englobando os métodos de transporte de poluentes no solo e na água subterrânea, quais sejam:

- 1 Avaliação da vulnerabilidade considerando apenas o solo e a zona não saturada, sem levar em consideração o processo de transporte na zona saturada. Alguns métodos clássicos de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos que se baseiam nesta abordagem são: o método GOD desenvolvido por Foster & Hirata (1988); o método AVI desenvolvido por Stempvoort *et al.* (1993), *apud* Gogu e Dassargues (2000);
- 2 Abordagens envolvendo análises do fluxo de água subterrânea e do processo de transporte dos contaminantes na zona saturada. Geralmente, essa abordagem utiliza modelos hidrogeológicos numéricos e computacionais para delimitação de áreas de proteção da qualidade da água subterrânea; e,
- 3 Abordagens envolvendo o solo, a zona não saturada e o aquífero. Exemplo de um método que utiliza essa abordagem é o método DRASTIC desenvolvido por Aller *et al.* (1987).

Baseados nessas diferentes abordagens, vários métodos de avaliação da vulnerabilidade têm sido desenvolvidos. Os métodos variam desde a adoção de modelos numéricos que simulam os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no subsolo; modelos físicos que consideram o solo, a zona não saturada e saturada para o cálculo do tempo de transporte dos contaminantes no sistema e métodos empíricos que envolvem o mapeamento da vulnerabilidade.

Os métodos mais adotados em estudos de mapeamento da vulnerabilidade natural de aquíferos são: o DRASTIC, proposto por Aller *et al.* (1987); o GOD, proposto por Foster & Hirata (1988); Pesticide Index, proposto por Rao *et al.* (1985), *apud* Feitosa *et al.* (2008); SINTACS, desenvolvido por Civita *et al.* (1990), *apud* Feitosa *et al.* (2008); e, AVI,

desenvolvido por Stempvoort *et al.* (1993) apud Gogu & Dassargues (2000). Um resumo dos parâmetros analisados nesses métodos pode ser visualizado na TAB.6.3.

TABELA 6.3: Parâmetros avaliados nos métodos mais adotados para o mapeamento da vulnerabilidade.

Método	Mapeamento	Parâmetros Analisados	Referência
<i>DRASTIC</i>	Vulnerabilidade Natural	D (Profundidade do Lençol Freático), R (Recarga), A (Material do Aquífero), S (Solo), T (Topografia), I (Influência da Zona Vadosa), C (Condutividade hidráulica)	Aller <i>et al.</i> (1987)
<i>GOD</i>	Vulnerabilidade Natural	G (Tipo de aquífero), O (Litologia da zona não saturada), D (Profundidade da água)	Foster & Hirata (1988)
<i>Pesticide Index</i>	Vulnerabilidade Específica	Características físico - químicas do Pesticida, Clima, Perfil do solo, Tipo de Cultura	Rao <i>et al.</i> (1985), apud Feitosa <i>et al.</i> (2008)
<i>Sintacs</i>	Vulnerabilidade Natural	Semelhante ao DRASTIC, com pesos diferentes	Civita <i>et al.</i> (1990), apud Feitosa <i>et al.</i> (2008)
<i>AVI</i>	Vulnerabilidade Natural	Espessura da zona vadosa Condutividade Hidráulica	Stempvoort <i>et al.</i> (1993), apud Gogu & Dassargues (2000)

Modificado de (FEITOSA *et al.*, 2008)

Esses métodos são baseados em índices e técnicas de sobreposição de mapas. A distribuição espacial de determinados atributos (solos, geologia, profundidade do nível d'água, topografia, e outros) leva a um valor numérico ou pontuação para cada atributo. Eles são combinados entre si para produzir uma pontuação final e interpretação da vulnerabilidade e do risco de contaminação de aquíferos.

A seguir é feita a descrição detalhada do método de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos denominado DRASTIC.

6.4.2 Método de Avaliação da Vulnerabilidade - DRASTIC

O método de avaliação da vulnerabilidade de aquífero, denominado DRASTIC, foi desenvolvido por Aller *et al.* (1985) para a Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (EPA). Esse método se constitui num modelo qualitativo para avaliar a vulnerabilidade natural das águas subterrâneas a cargas poluentes empregando parâmetros hidrogeológicos.

Esses parâmetros compreendem uma descrição composta de todos os fatores geológicos e hidrológicos que controlam o fluxo da água subterrânea para dentro, através e para fora de uma área (KIM e HAMM, 1999).

Segundo Lee (2003), o sistema de avaliação da vulnerabilidade, de acordo com o método DRASTIC, é composto de duas partes principais:

- 1 - designação das unidades mapeáveis, denominadas como configurações hidrogeológicas; e,
- 2 - aplicação de um esquema numérico de classificação relativa aos fatores hidrogeológicos.

De acordo com Aller *et al.* (1987), o sistema de mapeamento da vulnerabilidade de aquífero através do método DRASTIC consiste na interpretação dos pesos, intervalos e avaliações de cada parâmetro hidrogeológico analisado.

Cada parâmetro DRASTIC é avaliado em relação aos demais para determinar a importância relativa de cada fator. Para cada parâmetro é determinado um peso fixo, que varia de 1 a 5, refletindo a sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade. O parâmetro mais significativo tem o peso 5 e, o menos significativo, peso 1.

Existem duas classificações para essas atribuições, uma é referente à avaliação DRASTIC e a outra é referente à avaliação DRASTIC Agrícola. Esse último é indicado para regiões onde são desenvolvidas atividades agrícolas, com intensa utilização de agroquímicos.

De acordo com ALLER *et al.* (1987) o índice DRASTIC corresponde à soma ponderada de sete valores que correspondem à avaliação dos seguintes parâmetros hidrogeológicos (FIG. 6.3):

D – Profundidade do Lençol Freático (*Depth to groundwater*);

R – Recarga do Aquífero (*Recharge rate*);

A – Material do Aquífero (*Aquifer media*)

S – Tipo de Solo (*Soil media*);

T – Topografia (*Topography*);

I – Influência da Zona Vadosa (*Impact of the vadose zone*); e,

C – Condutividade Hidráulica do Aquífero (*Hydraulic conductivity*).

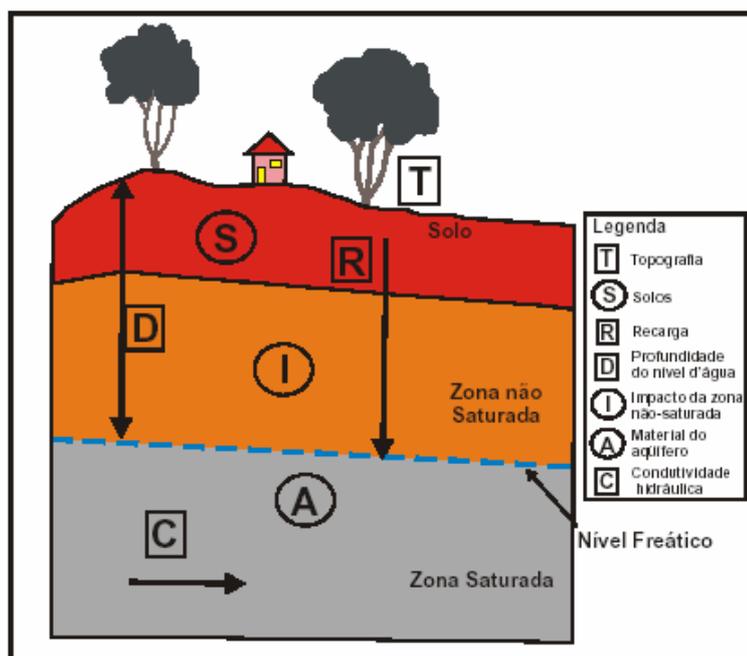


FIGURA 6.3: Figura ilustrativa dos parâmetros hidrogeológicos avaliados no método DRASTIC.

Fonte: Modificado de BÓS (2008).

A TAB. 6.4 apresenta o peso referente a cada parâmetro do índice DRASTIC e DRASTIC Agrícola.

TABELA 6.4: Peso relativo de cada parâmetro hidrogeológico DRASTIC e DRASTIC Agrícola.

Parâmetro	Descrição	DRASTIC (Pesos)	DRASTIC Agrícola (Pesos)
D	Profundidade do Lençol Freático	5	5
R	Recarga	4	4
A	Material do aquífero	3	3
S	Tipo de solo	2	5
T	Topografia	1	3
I	Influência da Zona Vadosa	5	4
C	Condutividade Hidráulica do Aquífero	3	2

Fonte: Aller *et al.* (1987)

Cada um dos sete parâmetros DRASTIC se divide em intervalos e tipos de meio significativos que condicionam o potencial de poluição. Cada intervalo dos parâmetros DRASTIC é avaliado em relação aos demais para determinar sua importância relativa. Para cada uma das

divisões é atribuído um índice de avaliação, com valor mínimo 1 e máximo 10, o qual se relaciona diretamente com o potencial de poluição.

Os pressupostos para a aplicação desse método são os seguintes:

- ✓ o contaminante é introduzido na superfície do terreno;
- ✓ o contaminante é transportado verticalmente ao aquífero pela água de infiltração;
- ✓ o contaminante tem a mobilidade da água; e,
- ✓ a área mínima avaliada pelo DRASTIC é de 0,4 km².

O índice de vulnerabilidade DRASTIC obtém-se através da seguinte expressão:

$$\text{Índice DRASTIC} = D_p D_i + R_p R_i + A_p A_i + S_p S_i + T_p T_i + I_p I_i + C_p C_i \quad (4)$$

Na qual:

D_p ; R_p ; A_p ; S_p ; T_p ; I_p ; e, C_p = peso correspondente ao parâmetro em questão; e;

D_i ; R_i ; A_i ; S_i ; T_i ; I_i ; e, C_i = índice de avaliação atribuído ao parâmetro em questão.

O índice final de vulnerabilidade, Índice DRASTIC, pode atingir um valor mínimo de 23 e o valor máximo de 226. Com base em diversos autores (ALLER *et al.*, 1987; LOBO-FERREIRA & OLIVEIRA, 1993; PARALTA & FRANCÉS, 2000), neste presente trabalho, foram adotados os intervalos e classes de vulnerabilidade apresentados na TAB. 6.5.

TABELA 6.5: Intervalo de valores do índice final de vulnerabilidade, Índice DRASTIC, e o critério de classificação da vulnerabilidade.

Intervalo de Valores do Índice DRASTIC	Crítérios de classificação da Vulnerabilidade
124 - 139	Vulnerabilidade Baixa
140 - 159	Vulnerabilidade Moderada
160 - 179	Vulnerabilidade Alta
180 - 199	Vulnerabilidade Muito Alta
> 200	Vulnerabilidade Extrema

6.4.3 Descrição dos Parâmetros hidrogeológicos DRASTIC, utilizados no modelo

Profundidade do nível estático - D: define a distância vertical que um contaminante tem que atravessar para atingir o aquífero. Quanto maior a profundidade, menor a probabilidade de o contaminante chegar ao aquífero. Num aquífero livre, a profundidade é a distância ao nível freático. No caso de aquífero confinado, a profundidade é a distância ao topo do aquífero. Em aquífero semi-confinado deve-se optar entre a distância ao nível freático ou ao topo do aquífero. De acordo com Aller *et al.* (1987), consideram-se os seguintes intervalos de profundidade do nível estático e respectivos índices, D_i (TAB. 6.6).

TABELA 6.6: Intervalos de profundidade do nível estático e os respectivos valores do índice de avaliação, D_i .

Profundidade do Nível Estático (m)	Índice de Avaliação (D_i)
0 – 5	10
5 – 10	9
10 – 15	8
15 - 30	7
30 - 50	5

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987)

Recarga do aquífero - R: representa a quantidade de água que chega anualmente ao aquífero através da precipitação. A recarga condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para os processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada. Considera-se que uma recarga elevada aumenta a lixiviação dos contaminantes para o aquífero. Entretanto, um volume alto de recarga contribui na diminuição do potencial de poluição favorecendo a diluição das substâncias poluentes. Na TAB. 6.7 tem-se os intervalos de recarga e os respectivos valores de avaliação, R_i (Aller *et al.*, 1987).

TABELA 6.7: Intervalos de recarga do aquífero e os respectivos valores do índice de avaliação, R_i .

Recarga do Aquífero (mm/ano)	Índice de Avaliação (R_i)
< 51	1
51 - 102	3
102 - 178	6
178 - 254	8
>254	9

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987)

Material do aquífero – A: determina a mobilidade do contaminante, ou seja, a capacidade do aquífero em atenuar os efeitos dos poluentes. Além disso, o meio geológico governa o sistema de escoamento da água subterrânea dentro do aquífero, que em conjunto com a condutividade hidráulica e o gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação. A TAB. 6.8, de acordo com Aller *et al.* (1987), lista os materiais do aquífero face à importância para atenuação do potencial de poluição. Cada material tem um intervalo de valores, apresentando-se entre parênteses o valor de avaliação típico a atribuir. A escolha deste valor deve se basear em informação específica sobre o material do aquífero. Se esta informação não existir, deve-se utilizar o índice típico.

TABELA 6.8: Tipos de material do aquífero e os respectivos valores do índice de avaliação, A_i .

Material do aquífero	Índice de Avaliação (A_i)
Xisto argiloso, argilito	1 – 3 (2)
Rocha metamórfica / ígnea	2 – 5 (3)
Rocha metamórfica / ígnea alterada	3 – 5 (4)
Arenito, calcário e argilito estratificado	5 – 9 (6)
Arenito maciço / Calcário maciço	4 – 9 (6)
Areia e cascalho	4 – 9 (8)
Basalto	2 – 10 (9)
Calcário carstificado	9 – 10 (10)

() Índice típico a atribuir

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987)

Tipo de solo - S: refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre, com uma espessura normalmente inferior a 2 m. O tipo de solo tem um significado impactante na quantidade de recarga, mas é, sobretudo pelo seu potencial atenuador da poluição que é considerado no índice DRASTIC. Espessura, textura e teor de matéria orgânica são algumas das propriedades do solo que condicionam o potencial de poluição. Em função dessas propriedades, Aller *et al.* (1987) definiram 11 tipos diferentes de solos aos quais atribuíram valores de avaliação, S_i , entre 1 e 10 (TAB. 6.9).

TABELA 6.9: Tipos de solos e os respectivos valores do índice de avaliação, S_i .

Tipos de solo	Índice de Avaliação (S_i)
Fino ou ausente	10
Cascalho	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
“Muck” (solo predominantemente orgânico)	2
Argila não agregada e não expansível	1

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987)

Topografia - T: define a declividade do terreno em termos percentuais. Este parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar. O aumento na declividade do terreno diminui a possibilidade de infiltração do contaminante junto com a água escoada, evitando a sua infiltração e a lixiviação para o aquífero. Aller *et al.* (1987) definiram para este parâmetro as classes de declividade e os respectivos índices de avaliação, T_i , conforme descrito na TAB. 6.10.

TABELA 6.10: Intervalos da declividade do terreno e os respectivos valores do índice de avaliação, T_i .

Declividade (%)	Índice de Avaliação (T_i)
< 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
>18	1

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987)

Influência da zona vadosa - I: a zona vadosa ou não saturada se refere a zona acima do nível freático que é insaturada ou descontinuamente saturada. O tipo do meio da zona vadosa determina a atenuação característica do material, incluindo o horizonte típico do solo e a rocha acima do nível freático. Normalmente, em se tratando de aquíferos livres, a zona vadosa é constituída litologicamente pelo mesmo material do aquífero. Nos casos de aquíferos semi-confinados ou confinados, é formada pelo material rochoso que aflora em sub-superfície.

O tipo de material que domina nesta zona minimiza o potencial de poluição em função do tempo de contato com o contaminante, favorecendo a ocorrência de diversos processos como: biodegradação, filtração mecânica, reações químicas, volatilização e dispersão. A TAB. 6.11 mostra, de acordo com Aller *et al.* (1987), os tipos de materiais da zona vadosa que possuem importância nos processos de atenuação do potencial de poluição dos contaminantes. Os critérios de escolha com relação ao intervalo de valores referentes a cada material da zona vadosa e aquele que deve ser atribuído se baseia nas mesmas condições adotadas para o parâmetro material do aquífero (A) descrito anteriormente.

TABELA 6.11: Tipos de materiais da zona vadosa e os respectivos valores do índice de avaliação, I_i .

Influência da Zona Vadosa	Índice de Avaliação (I_i)
Camada confinante	1
Argila / Silte	2 – 6 (3)
Xisto argiloso, argilito	2 – 5 (3)
Calcário	2 – 7 (6)
Arenito, calcário e argilito estratificado	4 – 8 (6)
Areia e cascalho com percentagem significativa de silte e argila	4 – 8 (6)
Rochas metamórficas e ígneas	2 – 8 (4)
Areia e cascalho	6 – 9 (8)
Basalto	2 – 10 (9)
Calcário carstificado	8 – 10 (10)

() Índice típico a atribuir

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987)

Condutividade Hidráulica do Aquífero - C: refere-se à capacidade do aquífero em transmitir água que em conjunto com o gradiente hidráulico, controla o fluxo de água subterrânea. A condutividade hidráulica depende da quantidade e conectividade dos espaços vazios dentro do aquífero, que podem ser poros, fraturas, cavidades ou planos estratificados. De acordo com Aller *et al.* (1987), como mostrado na TAB. 6.12, seis intervalos foram definidos com seus respectivos valores de avaliação, C_i , de acordo com o grau de importância em decorrência dos processos de atenuação do potencial de poluição.

TABELA 6.12: Intervalos de condutividade hidráulica e os respectivos valores do índice de avaliação, C_i .

Condutividade Hidráulica do Sistema Hidrogeológico (m/s)	Índice de Avaliação (C_i)
$10^{-2} - 10^{-3}$	10
$10^{-3} - 10^{-4}$	9
$10^{-4} - 10^{-5}$	7
$10^{-5} - 10^{-6}$	5
$10^{-6} - 10^{-8}$	3

Fonte: Adaptado de Aller *et al.* (1987)

Destaca-se que uma das principais vantagens desse método é que ele é um dos índices mais aplicados e conhecidos do mundo. Além disso, seus diversos parâmetros são relacionados com os mecanismos que envolvem os transportes dos contaminantes no meio subterrâneo. Outra vantagem do método é que ele tem uma grande simplicidade de operação e baixo custo de aplicação.

6.4.4 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

A aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (SIG`s) e geoprocessamento é fundamental para a visualização e elaboração de mapas temáticos visualmente adequados. Neste trabalho, sua aplicação foi voltada para o georreferenciamento, vetorização, análise espacial, e a interpretação e elaboração de algumas figuras e mapas, apresentados no texto.

Os SIG`s tem sido amplamente utilizados nas metodologias de mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos (LAKE *et al.*, 2003). A grande vantagem da utilização de SIG`s é a possibilidade da combinação de diversas informações (elaboração de camadas) e a facilidade na alteração e combinação dos parâmetros utilizados para a classificação final da vulnerabilidade (WANG *et al.*, 2007).

7 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

Os itens deste capítulo são referentes à caracterização geral da área de estudo.

7.1 Localização e Acesso

Este estudo foi realizado no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – CNPMS da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. O CNPMS está localizado no município de Sete Lagoas – MG, na rodovia estadual MG 424 - Km 65, a 70 Km da capital Belo Horizonte, cuja área estende-se por quase 2.000 ha, até o município de Prudente de Moraes (FIG. 7.1).



FIGURA 7.1: Imagem ilustrativa da localização geográfica do CNPMS.

Fonte: <http://www.cnpms.embrapa.br/unidade/localizacao.php>.

O município de Sete Lagoas está situado entre o contato de duas grandes regiões fisionômicas e socioespaciais de Minas Gerais, ou seja, o contato entre o Quadrilátero Ferrífero (região de ocorrência de minerais ferrosos e da floresta tropical úmida, com vegetação primitiva do centro-sul e leste), e a região dos calcários do grupo Bambuí (região com uma típica vegetação do cerrado).

Avellar & Silva (2000) associam a escolha da localização do CNPMS à presença do cerrado visto que as terras dessa região eram consideradas pobres e pouco produtivas e representam 20% do estado de Minas Gerais, carecendo de pesquisas que revelassem seu potencial agrícola.

7.2 Clima

Segundo Avellar (2009) o clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico úmido, de acordo com a classificação de Köppen. Apresenta duas estações bem definidas ao longo do ano. Uma estação apresenta verão quente e chuvoso (outubro a março) e, a outra, apresenta-se fria e seca, abrangendo o período de abril a setembro.

Os dados aqui analisados tem, como fonte, a Estação Meteorológica de Sete Lagoas, localizada dentro do CNPMS (FIG. 7.2) e administrada pelo Instituto de Meteorologia (INMET). Essa estação foi criada em 1926, tendo sido transformada em Estação Climatológica Principal em março de 1967. Neste trabalho foram utilizados os dados de temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial, correspondentes ao período de janeiro de 1960 a dezembro de 2010, e estão disponíveis nas TAB's. 7.1, 7.2 e 7.3, no Anexo I.



FIGURA 7.2: Estação meteorológica de Sete Lagoas, instalada na área do CNPMS.

7.2.1 Temperatura e Pluviometria

A temperatura média na região encontra-se em torno de 20 °C no período seco, chegando a atingir temperaturas mínimas próximas a 15 °C, enquanto que durante o período chuvoso a temperatura média sobe para 23 °C, sendo que a temperatura máxima registrada foi de aproximadamente 29 °C. Os dados citados acima podem ser observados na FIG. 7.3 que apresenta a distribuição média da temperatura na região, ao longo do ano.

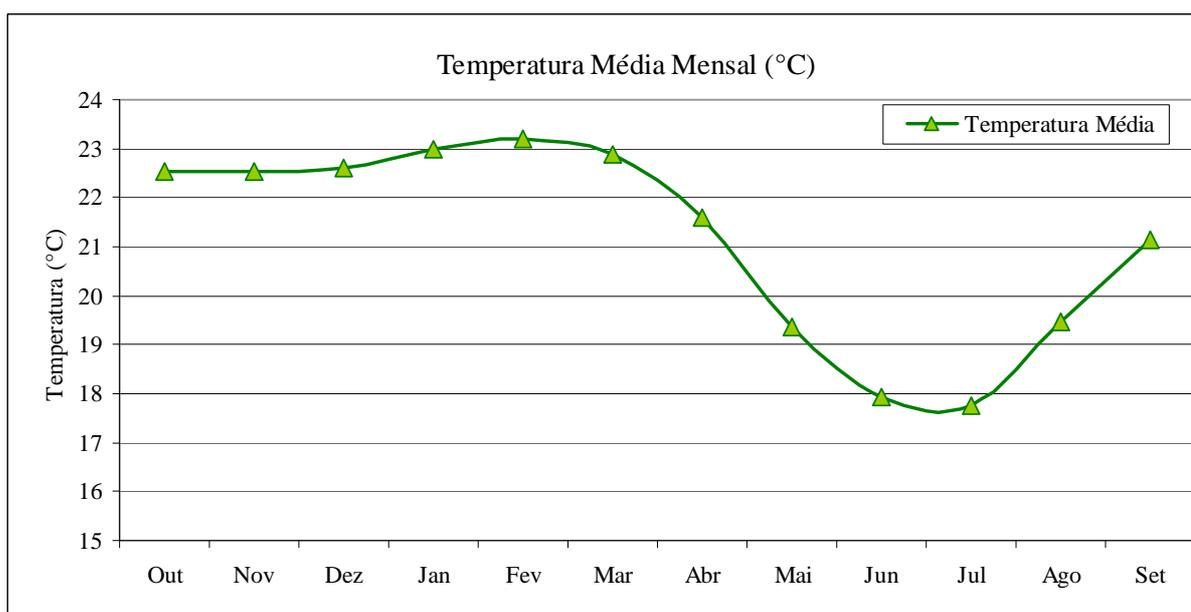


FIGURA 7.3: Variação da temperatura média mensal na área do CNPMS no período de janeiro de 1960 a dezembro de 2009.
(Fonte: INMET – EMBRAPA Milho e Sorgo)

A pluviometria total ao longo de um ano hidrológico (considerado de outubro a setembro) encontra-se em torno de 1.000 a 1.500 mm/ano, sendo que 82 % da precipitação anual se concentram entre os meses de novembro e março e apenas 18 % ocorrem durante a seca. Para os cálculos da evapotranspiração real e demais variáveis do balanço hídrico foi adotado para a precipitação o valor médio calculado para o período de outubro de 1960 a setembro de 2009, que é de 1.382 mm/ano.

A FIG. 7.4 apresenta o gráfico com as médias, máximas e mínimas precipitações mensais, com base nos dados registrados. Nota-se que a chuva concentra-se entre outubro a março e os meses de abril a novembro são os mais secos.

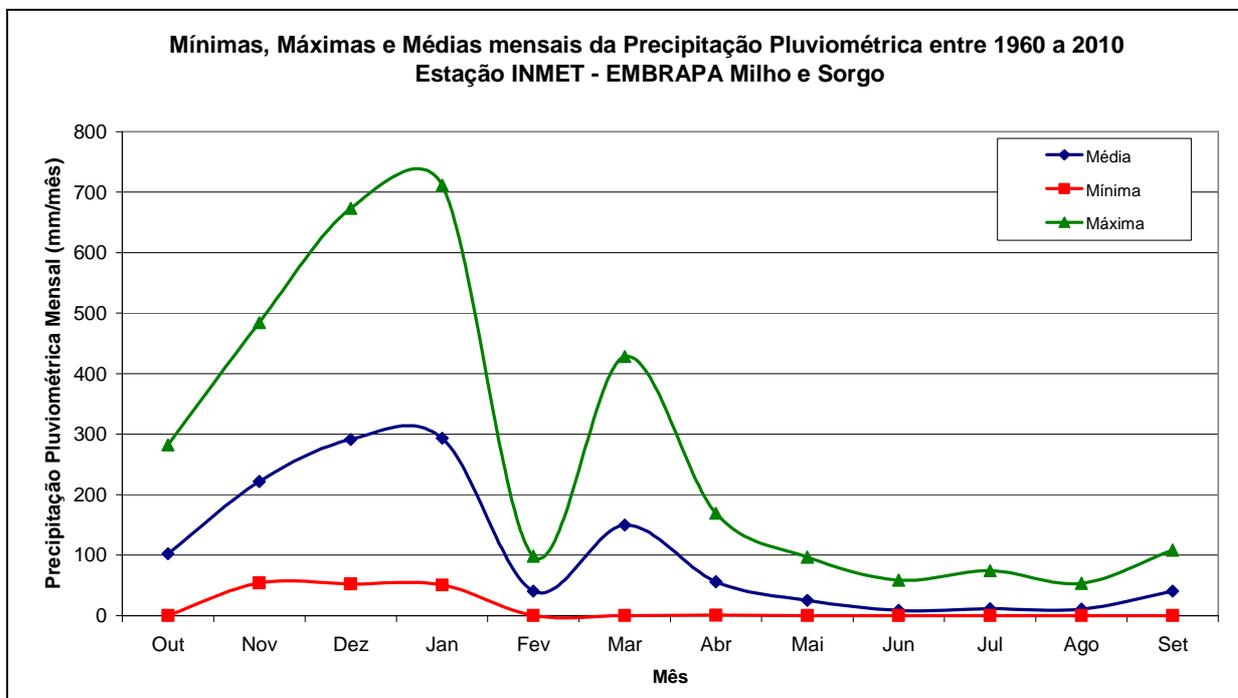


FIGURA 7.4: Gráfico da precipitação pluviométrica mensal.
 (Fonte: INMET – EMBRAPA Milho e Sorgo)

7.3 Balanço Hídrico

O balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, obedecendo aos princípios da conservação de massa, envolve a quantificação dos componentes hídricos em um sistema, visando ao melhor entendimento do comportamento hídrico da região e à utilização racional dos recursos hídricos. Para tanto, o seu equacionamento contabiliza todas as entradas e saídas de água em uma unidade hidrográfica, a fim de determinar a variação do armazenamento dentro da mesma.

Considerando a continuidade de massa e a troca de energia dos sistemas envolvidos, no tempo e no espaço, o balanço hídrico envolve os seguintes fenômenos: precipitação, evaporação, transpiração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo.

7.3.1 Evapotranspiração

A evapotranspiração é considerada, segundo Tucci & Beltrame (2001), como a perda de água por evaporação da água do solo e transpiração da planta, sendo importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação.

A quantificação da evapotranspiração através de formulações físicas é complicado devido à complexidade dos fenômenos físicos intervenientes e pela variabilidade das escalas em que esses fenômenos acontecem. Enquanto a transpiração envolve dimensões microscópicas entre a absorção de água pelas raízes das plantas, armazenamento e movimentação de água no interior das plantas e liberação de água para a atmosfera através do sistema foliar, o transporte de vapor depende de parâmetros meteorológicos e da circulação do ar na superfície da terra (OLIVEIRA *et al*, 2008).

Segundo Tucci & Beltrame (2001), a análise da evapotranspiração envolve dois conceitos fundamentais, apresentados a seguir:

- **Evapotranspiração Potencial (ETP):** quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo, de uma superfície extensa, completamente coberta de vegetação de porte baixo e bem suprida de água.
- **Evapotranspiração Real (ETR):** quantidade de água transferida para a atmosfera, nas condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo, sendo menor ou no máximo igual à evaporação potencial.

A evapotranspiração potencial pode ser obtida, de forma rápida e precisa, a partir de modelos e relações empíricas, sendo que, os principais procedimentos empregados para estimar essa variável são: medidas diretas (lisímetros, evaporímetros); métodos baseados na temperatura; métodos baseados na radiação; métodos combinados; e, balanço hídrico.

O método combinado ou a equação de Penman, proporciona um meio conveniente para se estimar a evapotranspiração, por meio de dados meteorológicos normalmente coletados em estações climatológicas.

Os dados de evapotranspiração potencial, fornecidos pelo CNPMS, foram obtidos a partir do método combinado ou equação de Penman-Monteith (Equação 4). Este método envolve diversas variáveis tais como: temperatura do ar (máxima e mínima), umidade relativa do ar, radiação solar, e velocidade do vento (MARCUIZZO *et. al.*, 2008).

$$ETP = \frac{\frac{R}{L} \Delta + \gamma \cdot E_a}{\Delta + \gamma} \quad (1)$$

Na qual:

ETP = evapotranspiração potencial em mm/dia;

R = radiação solar líquida em cal/cm².dia;

L = calor latente de vaporização em cal/mm;

E_a = evaporação aerodinâmica em mm/dia;

Δ = declividade da curva de pressão de saturação em kPa; e,

γ = constante psicrométrica em kPa.

Tais resultados são apresentados na FIG. 7.5, juntamente com os dados de pluviometria, deixando clara a existência de um déficit hídrico no período entre os meses de abril a outubro, provocado pela manutenção de temperaturas médias acima de 20 °C, mesmo na estação fria e seca.

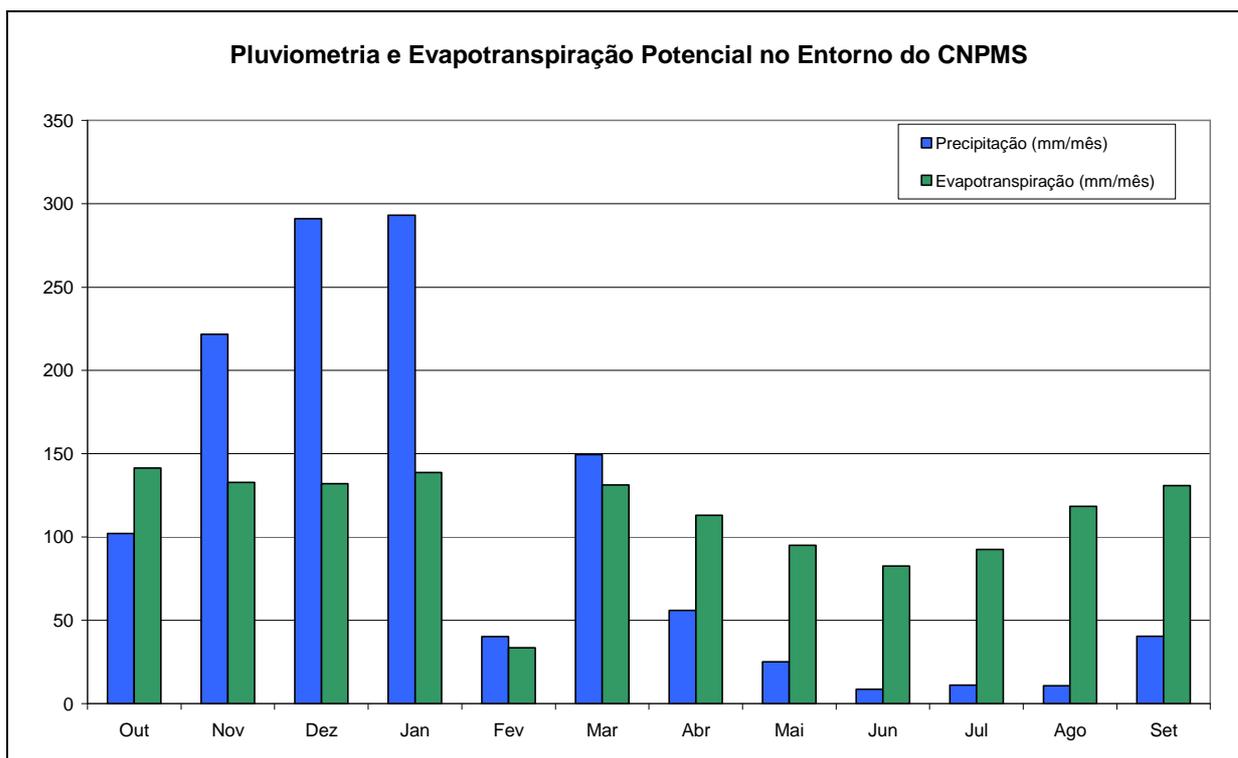


FIGURA 7.5: Variação do balanço hídrico estimado na região do CNPMS: Comparação entre precipitação e evapotranspiração potencial, no período de outubro de 1960 a setembro de 2010. (Fonte: INMET – EMBRAPA Milho e Sorgo).

A evapotranspiração real é um processo complexo e extremamente dinâmico que envolve organismos vivos, solos e cobertura vegetal além de sua dependência em relação à disponibilidade hídrica local. Portanto, existe uma grande dificuldade em se obter informações confiáveis sobre tal grandeza. Ela pode ser determinada pela utilização de fórmulas empíricas baseadas em fatores climáticos, tais como a temperatura média e a altura de precipitação ou ainda pela equação do balanço hídrico, quando as demais variáveis são conhecidas.

No presente trabalho foram utilizadas duas metodologias diferentes para o cálculo da evapotranspiração real, ambas baseadas em dados de temperatura e precipitação, que serão descritas a seguir.

A metodologia de L. Turc calcula a evapotranspiração real anual média através da seguinte expressão empírica (VASCONCELOS, 1994):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (2)$$

Na qual:

ETR = evapotranspiração real média anual, expressa em mm/ano;

P = altura média anual de precipitação, expressa em mm/ano;

L = parâmetro empírico dado pela Equação 3.

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad (3)$$

Na qual:

T = temperatura média anual, em °C.

Os dados obtidos através da Equação 6 estão apresentados na TAB. 7.1 indicando um valor médio de evapotranspiração real de 949,51 mm/ano.

Outra metodologia utilizada para a determinação da evapotranspiração real média anual é conhecida como fórmula de Coutagne, representada pela expressão empírica (Vasconcelos, 1994):

$$ETR = P - \lambda P^2 \quad (4)$$

Na qual:

ETR = evapotranspiração real média anual, expressa em m/ano;

P = precipitação média anual, expressa em m/ano;

λ = parâmetro empírico dado pela seguinte expressão:

$$\lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14T} \quad (8)$$

Na qual:

T = temperatura média anual, em °C.

Os dados de temperatura e de precipitação, fornecidos pelo CNPMS, foram utilizados no cálculo da evapotranspiração real média anual, estimado em 846,16 mm/ano. Os resultados obtidos estão apresentados na TAB. 7.1.

Uma comparação entre os dados de precipitação e de evapotranspiração real segundo os métodos de L. Turc e de Coutagne encontra-se no gráfico da FIG. 7.6.

TABELA 7.1: Evapotranspiração real média anual estimada para a região do CNPMS – Avaliação feita segundo as equações de L. Turc e de Coutagne. Fonte: INMET.

Ano	T média anual (°C)	Precipitação (mm/ano)	ETR L.Turc (mm/ano)	ETR Coutagne (mm/ano)
1960	20.4	1425.7	952.2	868.8
1961	21.0	1512.8	1001.3	900.5
1962	20.3	1966.8	1053.3	903.3
1963	21.6	463.9	459.4	407.5
1964	20.6	1583.1	1002.7	903.5
1965	20.3	1762.6	1024.8	910.7
1966	20.9	1316.2	940.1	851.1
1967	21.1	1163.8	890.3	802.6
1968	19.8	1060.7	811.9	745.4
1969	21.8	1308.0	969.9	864.1
1970	21.6	1226.3	931.4	832.9
1971	21.1	1300.5	941.6	849.7
1972	21.0	1311.8	941.3	851.1
1973	21.6	1420.2	1000.0	892.8
1974	20.8	1240.8	911.4	826.2
1975	20.9	1124.9	869.1	785.1
1976	20.9	1165.3	886.7	801.2
1977	21.4	1236.5	929.7	834.0
1978	20.5	1459.9	966.4	878.8
1979	20.4	2233.9	1095.9	871.1
1980	21.0	1318.4	945.9	854.2
1981	20.5	1467.5	969.1	880.7
1982	20.9	1083.7	851.7	768.4
1983	20.9	1992.8	1092.9	927.3
1984	21.4	1092.7	869.7	778.4
1985	20.5	1853.2	1049.3	917.7
1986	21.3	936.4	788.6	704.1
1987	21.7	1350.3	980.2	874.9
1988	21.1	1506.3	1005.3	902.3
1989	21.0	1248.7	920.6	831.8
1990	21.5	909.3	778.2	692.2
1991	20.9	1646.3	1027.6	917.8
1992	20.9	1995.2	1095.1	928.5
1993	21.4	1050.9	849.5	759.8
1994	21.5	1412.1	991.6	887.8
1995	21.6	1499.6	1022.1	910.6
1996	21.1	1542.9	1014.9	909.2
1997	21.2	1645.0	1045.4	928.0
1998	22.1	1367.1	999.7	886.4
1999	21.4	1219.2	920.9	826.9
2000	21.4	1417.7	990.8	887.9
2001	21.7	1440.9	1009.5	899.4
2002	22.0	1186.2	928.1	823.9
2003	21.7	1195.8	920.9	822.5
2004	21.3	1478.1	1003.5	899.5
2005	21.5	1508.6	1023.6	912.0
2006	21.3	1314.1	953.1	857.1
2007	21.4	1373.0	999.7	902.3
2008	21.1	1233.0	980.2	910.6
2009	21.5	1535.0	869.7	917.8
Média	21.1	1382.1	949.5	850.0
Desvio Padrão	0.5	304.9	102.5	86.1

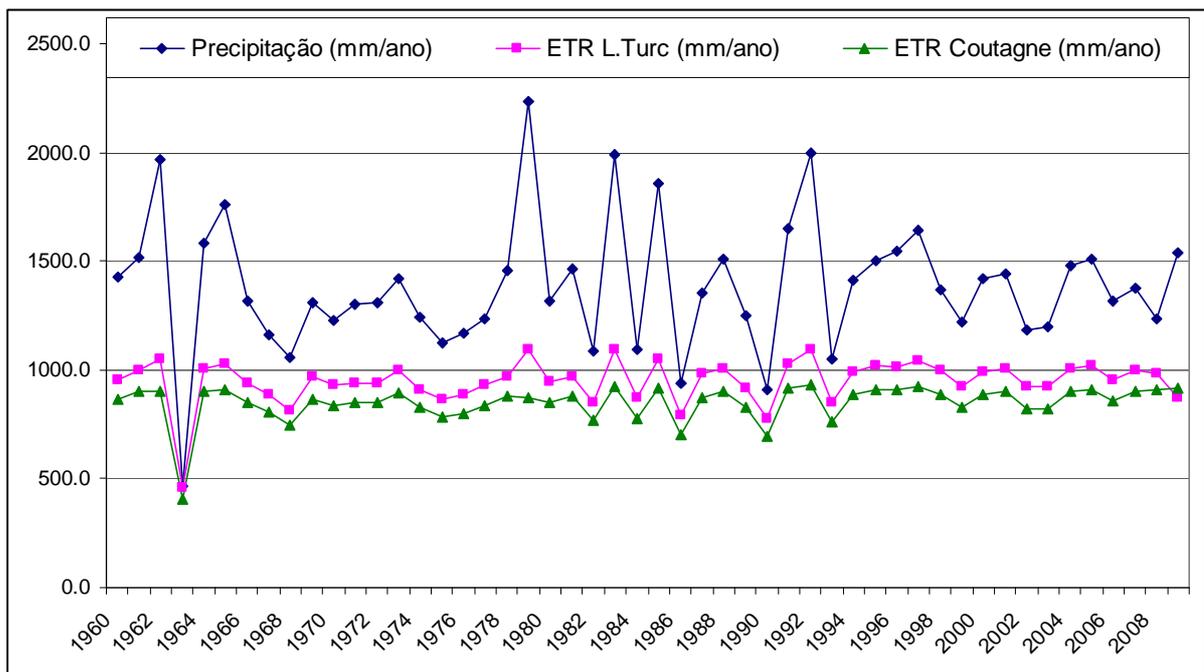


FIGURA 7.6: Comparação entre os valores de precipitação e de evapotranspiração real calculada segundo as equações de L. Turc e de Coutagne, para a região do CNPMS.

Apesar de utilizarem os mesmos dados de temperatura e precipitação média anual, as metodologias adotadas no cálculo da evapotranspiração real apresentaram resultados muito diferentes, confirmando a previsão feita por Tucci & Beltrame (2001) sobre a difícil confiabilidade desses modelos adotados. Para uma conferência desses resultados será realizado um novo cálculo, apresentado no sub-item 7.3.3, utilizando a equação do balanço hídrico.

7.3.2 Recarga

De acordo com Tucci (2001), os escoamentos da água em um sistema hidrológico/hidrogeológico podem ser, em geral, definidos como: escoamento superficial, que representa o fluxo da água sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais; escoamento subsuperficial, que alguns autores definem como o fluxo que se dá junto às raízes da cobertura vegetal e escoamento subterrâneo, que é o fluxo devido à contribuição do aquífero.

Por ser muito reduzido, o escoamento subsuperficial não é considerado nas análises de hidrogramas, os quais fazem a distinção entre o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo. Essa distinção é realizada por meio de métodos gráficos que separam as parcelas

referentes a cada tipo de escoamento por uma linha divisória. O volume abaixo da linha traçada corresponde ao escoamento subterrâneo enquanto o volume acima dessa linha é identificado como o escoamento superficial.

O traçado dessa linha divisória pode ser feito por três métodos diferentes, quais sejam: método 1 – método do escoamento fixo de base; método 2 – método da linha reta; e, método 3 – método da inclinação variável (TUCCI & BELTRAME, 2001), ilustrados na FIG. 7.7.

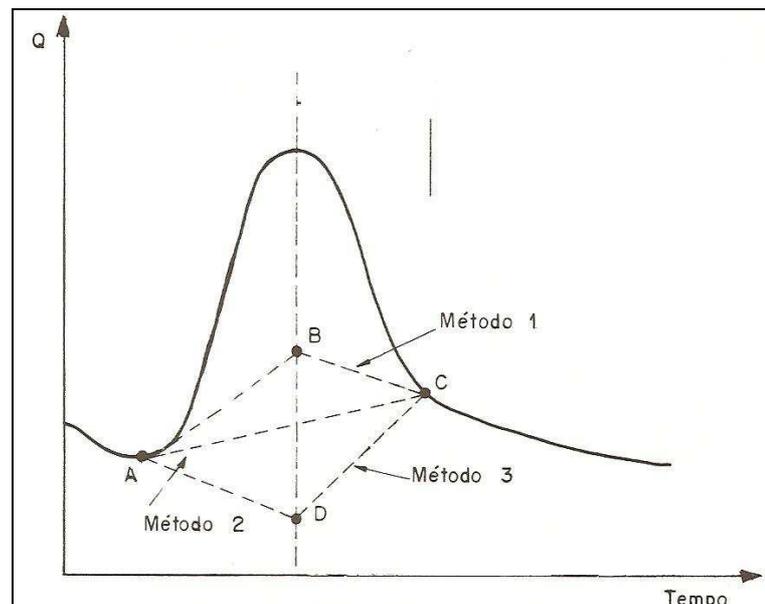


FIGURA 7.7: Técnicas de separação dos tipos de escoamento. Sendo, método 1 – método do escoamento fixo de base; método 2 – método da linha reta; método 3 – método da inclinação variável. Fonte: Tucci & Beltrame (2001).

No presente trabalho será adotado o método 2, ou seja, o método da linha reta que consiste em desenhar uma linha reta do ponto onde a precipitação inicia-se até o momento onde a mesma intercepta a curva de recessão.

Dessa forma foram analisados os hidrogramas de três estações fluviométricas localizadas na área de interesse do trabalho, obtidos junto à Agência Nacional de Águas (ANA). As estações aqui citadas são identificadas a seguir:

- Estação Curtume – Instalada no Ribeirão Matadouro, a montante da área do CNPMS. Possui uma área de drenagem de 64 km^2 e uma série histórica de dados a partir de junho de 1965 até dezembro de 1970.

- Estação Represa – Instalada no Ribeirão Jequitibá, na entrada da Represa Olhos D’água, localizada no município de Funilândia. Apresenta uma área de drenagem de 175 km² e uma série histórica com dados do período entre agosto de 1967 e dezembro de 1979.
- Estação Represa Jusante – Instalada no Ribeirão Jequitibá, a jusante da Estação Represa, também no município de Funilândia. Abrange uma área de drenagem de 227 km² e apresenta uma série histórica de dados entre o período de junho de 1979 a junho de 2006.

Visto que os dados de cada uma das estações fluviométricas correspondem a diferentes períodos de tempo, optou-se por calcular os valores de escoamento superficial e subterrâneo de cada uma das estações, sempre considerando o período de um ano e, além disso, ao final, fez-se uma média desses valores. Tais dados são apresentados na TAB 7.2.

TABELA 7.2: Escoamento superficial e subterrâneo calculados pelo método gráfico da linha reta para as estações fluviométricas instaladas na área.

Estação	Período considerado	Escoamento superficial (mm/ano)	Escoamento subterrâneo (mm/ano)
Curtume	Dez 65 - Dez 70	84,71	243,28
Represa	Dez 67 - Dez 70	96,87	234,78
Represa jusante	Jun 79 - Jun 06	153,62	273,1
	Médias (mm/ano)	117,73	250,39

A partir do método adotado, a recarga no entorno do CNPMS foi estimada em 250 mm/ano, correspondendo a 18 % da precipitação média anual (1.382 mm/ano).

7.3.3 Equação do Balanço Hídrico

Agora, com as estimativas dos valores do escoamento superficial e subterrâneo, pode-se avaliar novamente a evapotranspiração real por meio da Equação 9, conhecida como equação do balanço hídrico.

$$P + Q_{in} = ES + ET + R + Q_{out} + \Delta S \quad (5)$$

Na qual:

P = precipitação, expressa em mm/ano;

Q_{in} = aporte total de água, expressa em mm/ano;

ES = deflúvio superficial, expressa em mm/ano;

ET = evapotranspiração total, expressa em mm/ano;

R = recarga ou escoamento subterrâneo, expressa em mm/ano;

Q_{out} = Retirada total de água, expressa em mm/ano;

ΔS = variação do armazenamento, expressa em mm/ano;

Considerando que a variação do armazenamento seja nula, justificável pelo fato de se considerar ciclos hidrológicos fechados, e conhecendo os valores de precipitação média (1382 mm/ano), escoamento superficial (117 mm/ano) e escoamento subterrâneo (250 mm/ano), a evapotranspiração real foi estimada em 1015 mm/ano.

Segundo os cálculos aqui desenvolvidos pode-se perceber que a evapotranspiração real calculada pelo método do balanço hídrico se encontra dentro do intervalo previsto pelos métodos de L. Turc e Coutagne, que é de 760 a 1050 mm/ano.

7.4 Hidrografia

O município de Sete Lagoas, situado na zona de planejamento Centro-Oeste de Minas, ocupa uma área de 519 km² e está inserido na bacia do Rio Jequitibá, localizada no alto da sub – bacia do rio das Velhas e pertencente à bacia hidrográfica do rio São Francisco (FIG. 7.8).



FIGURA 7.8: Imagem ilustrativa da divisão Hidrográfica Nacional e da localização do CNPMS na bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

(Divisão Hidrográfica Nacional segundo a Resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos – CNRH n° 32, de 15/10/2003: 1 – Região hidrográfica Amazônica; 2 - Região hidrográfica de Tocantins – Araguaia; 3 - Região hidrográfica Atlântico Noroeste Ocidental; 4 - Região hidrográfica do São Francisco; 5 - Região hidrográfica Atlântico Leste/Sudeste; 6 - Região hidrográfica do Paraguai/Paraná; 7 - Região hidrográfica do Uruguai; 8 - Região hidrográfica do Atlântico Sul.).

A rede hidrográfica no CNPMS não é constituída por cursos d’água de grande volume. A exceção é o rio das Velhas que constitui o limite oriental da região. A área do CNPMS é cortada por dois ribeirões perenes da sub-bacia do rio Jequitibá, sendo eles, o ribeirão Matadouro (corta a área em sua porção noroeste), e o córrego do Marinheiro (corta a área em sua porção sudoeste). Na FIG. 7.10 pode ser visualizado o mapa hidrográfico e topográfico da área de estudo.

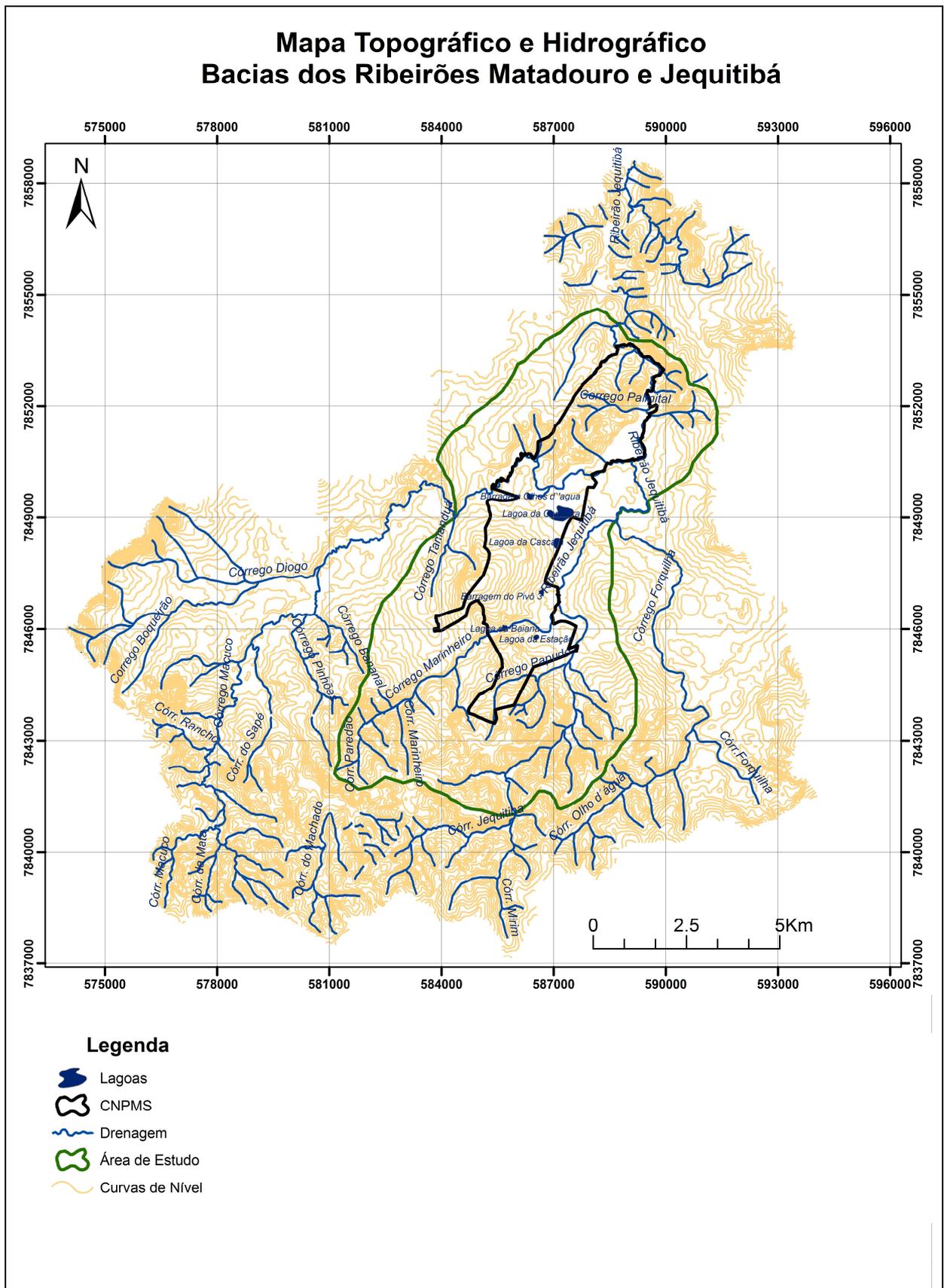


FIGURA 7.10: Mapa topográfico e hidrográfico das bacias dos ribeirões Matadouro e Jequitibá, e a delimitação da área de interesse deste estudo.

O Ribeirão Matadouro drena toda a área urbana de Sete Lagoas, apresentando uma alta carga de contaminação por esgoto doméstico e industrial. Por isso suas águas, da maneira como se encontram, tornam-se inadequadas para o uso.

O Córrego do Marinheiro drena a zona rural de Sete Lagoas, chegando ao CNPMS próximo ao limite sudoeste de sua área. Dentro do CNPMS o córrego é represado formando uma lagoa, conhecida como lagoa da Baiana.

Essa lagoa possui duas saídas de água, uma que segue o curso natural do córrego e outra que segue em um canal de irrigação por onde a água é distribuída para a região centro – sul do CNPMS. Ao longo desse canal, foram construídas pequenas lagoas para acumulação da água. No início do canal foi alocada uma régua linimétrica para monitoramento do nível d'água (FIG. 7.11).

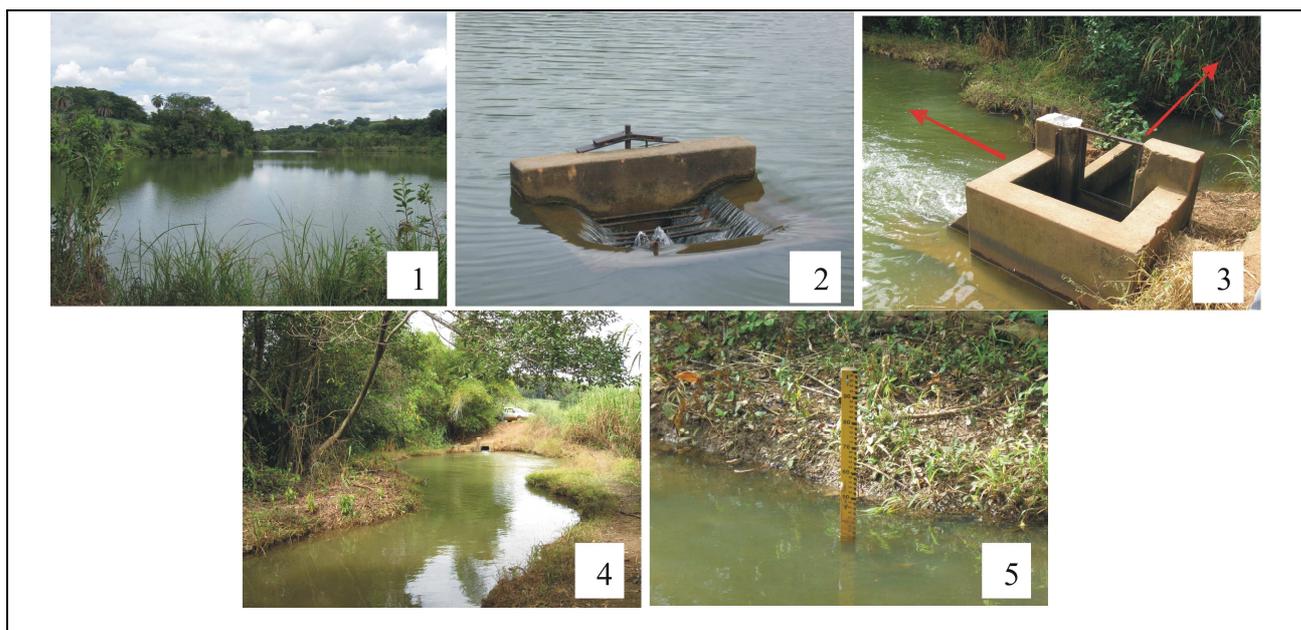


FIGURA 7.11: 1 - Lagoa da Baiana; 2 – Vertedouro; 3 - Canais de saída da água; 4 – Canal de irrigação; 5 – Régua Linimétrica instalada no canal de irrigação.

Algumas lagoas naturais, dolinas e nascentes também são aproveitadas dentro do CNPMS como fonte de água para irrigação. O canal de irrigação que drena a porção norte da área possui origem na lagoa Olhos d'água localizada na área central, as águas excedidas são vertidas no ribeirão Matadouro.

7.5 Solos

Os solos característicos da área de estudo são predominantemente os Latossolos, sendo representados pelas classes Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo, e pequenas áreas de ocorrência de outras classes como: cambissolos, neossolos e gleissolos sempre associados às condições de ocorrência da paisagem.

Esses solos se desenvolveram a partir de coberturas coluviais assentadas sobre as rochas pelíticas alteradas do grupo Bambuí, correspondendo às superfícies de aplainamento com topos suavemente ondulados, ou com extensas superfícies rebaixadas (VIANA, 2005). A FIG. 7.12 representa a distribuição dessas classes de solo na área de estudo, com destaque para as áreas de cultivo no CNPMS. Essa imagem foi obtida a partir de adaptações do mapa de solos publicado por Ribeiro *et al.* (2003).

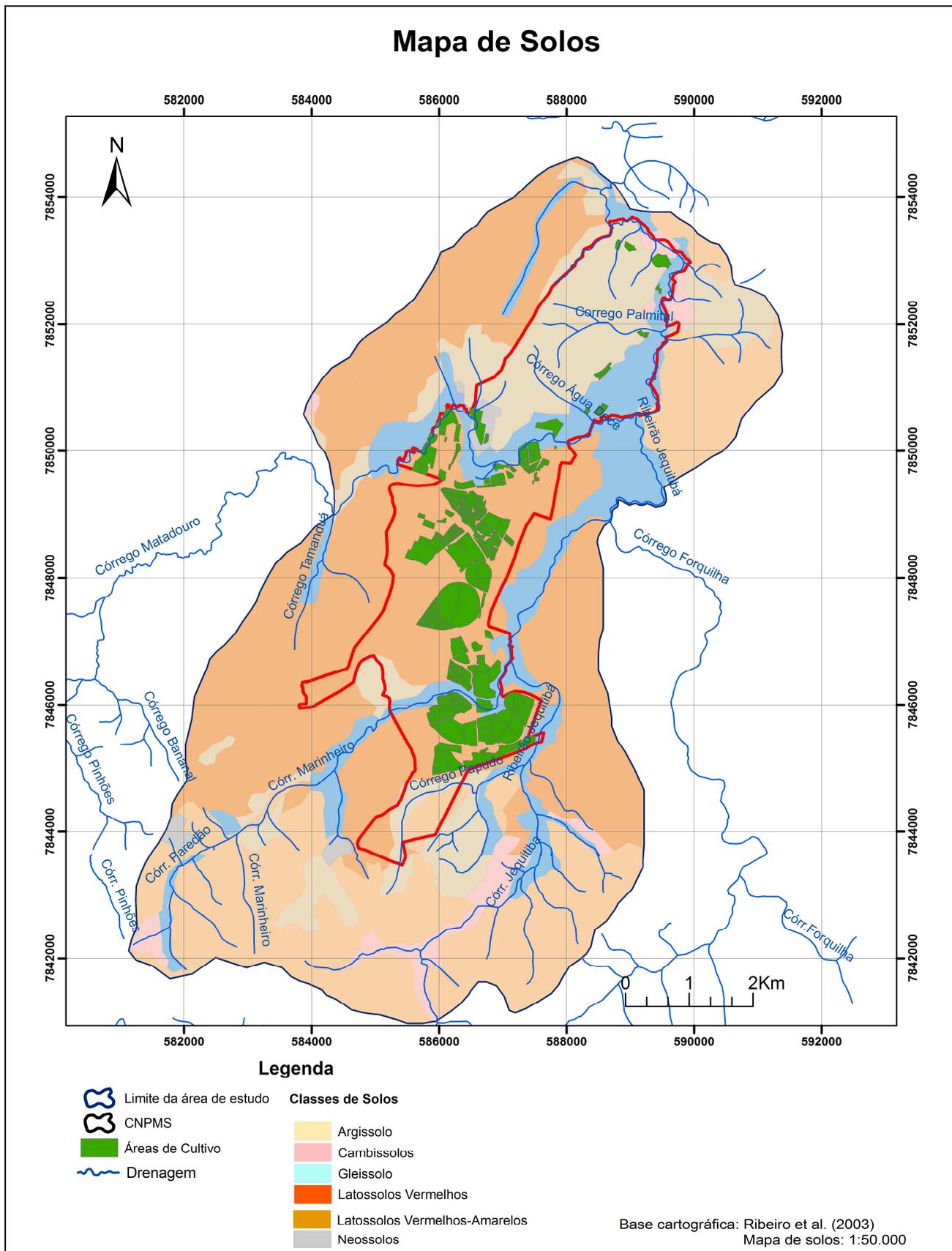


FIGURA 7.12: Distribuição das classes de solos na área de interesse deste estudo e localização das áreas de cultivo agrícola no CNPMS.

Os solos muito evoluídos, como os Latossolos, têm boas características físicas, o que dificulta a atuação de processos erosivos, favorecendo o manejo. Entretanto, as características químicas destes solos, referentes à fertilidade, comprometem sua potencialidade agrícola.

O relevo onde os Latossolos ocorrem é, geralmente, mais plano, sendo adequado à construção de moradias e ao emprego de máquinas, no caso da agricultura. Entretanto, como já mencionado, normalmente são solos de baixa fertilidade, necessitando de correção para o uso agrícola.

Por serem solos muito intemperizados, têm predomínio de caulinita e óxidos de ferro (hematita) e de alumínio (gibbsita), o que implica em elevada carga positiva e baixa capacidade de troca catiônica – CTC da argila, acentuada acidez, baixa reserva de nutrientes e toxidez por alumínio para as plantas (PANOSO *et al.*, 2001). Essa característica deve-se a uma junção de fatores, entre os quais destacam-se o tipo de rocha que originou o solo e os intensos processos de lixiviação pelos quais o solo pode ter passado.

Conforme destacam Panoso *et al.* (2001), embora o calcário esteja presente e seja apontado por diversos autores como de larga expressão na região, são poucas as evidências de sua participação ativa na formação dos solos da região. Os principais materiais originários dos solos em questão são produtos da decomposição de rochas sedimentares do Grupo Bambuí como as ardósias, os filitos, os quartzitos e os folhelhos, típicas das regiões mais altas da paisagem, que foram transportados e depositados sobre a rocha calcária.

Com pequenas variações de características, a grande maioria das terras existentes na região representa bem os solos argilosos vermelhos e argilosos vermelho-amarelos da região de cerrados do Brasil Central (EMBRAPA, 2002).

7.6 Contexto Geológico

7.6.1 Geologia Regional

A área de estudo está situada na Bacia do São Francisco, que faz parte do Cráton homônimo. Essa bacia contém uma extensiva cobertura sedimentar de rochas clásticas e carbonáticas Neoproterozóicas (Supergrupo São Francisco), compreendendo uma unidade glacial basal

(Conglomerado Carrancas/Grupo Macaúbas/Formação Jequitai) coberta por uma espessa sucessão pelítica – carbonática (Grupo Bambuí), (Dardenne, 1978; Pessoa, 2005).

A unidade geológica característica desta bacia é representada pelo Grupo Bambuí que corresponde a uma espessa sucessão pelítica-carbonática, depositada durante o Neoproterozóico, assumindo assim, grande relevância no contexto geológico do Cráton do São Francisco. O registro dessa sedimentação carbonática estende-se aos Estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia.

A primeira referência às rochas do Grupo Bambuí data de 1879, quando Derby as denominou de série do São Francisco, posteriormente modificada para Série do Bambuí (Rimann, 1977). Entretanto, a primeira coluna litoestratigráfica foi proposta muitos anos depois por Costa e Branco (1961).

Neste trabalho adotamos a coluna litoestratigráfica proposta por Dardenne (1978), na qual o Grupo Bambuí é dividido, da base para o topo nas seguintes unidades (FIG. 7.13):

- Formação Jequitai composta por conglomerados, arcóseos e filitos;
- Formação Sete Lagoas composta por dolomitos, calcários e pelitos;
- Formação Serra de Santa Helena formada por folhelhos, siltitos e secundariamente arenitos;
- Formação Lagoa do Jacaré composta por siltitos, margas e calcários pretos;
- Formação Serra da Saudade, que inclui folhelhos verdes, pelitos, siltitos e lentes de calcário; e,
- Formação Três Marias, que ocupa o topo da sucessão compreendendo siltitos e arcóseos depositados em ambientes aluvial a marinho raso.

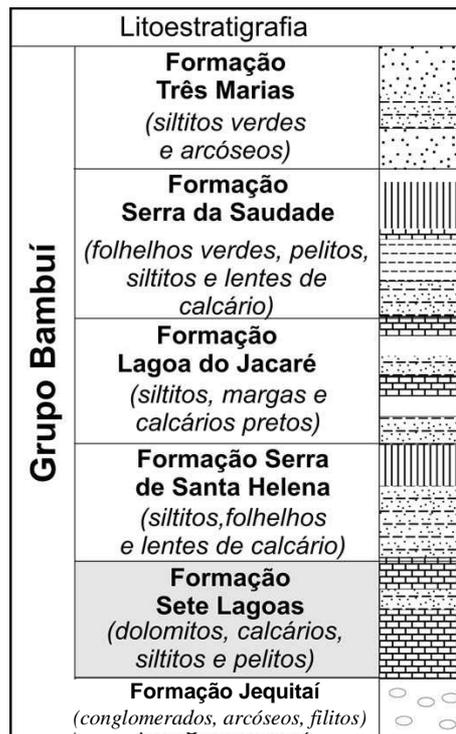


FIGURA 7.13: Coluna estratigráfica do Grupo Bambuí (segundo Dardene, 1978).

7.6.2 Geologia Local

A região onde está inserido o município de Sete Lagoas e Prudente Morais, os quais abrangem a área de interesse deste estudo, corresponde a uma pequena porção do extremo sudeste do Cráton São Francisco (FIG. 7.14).

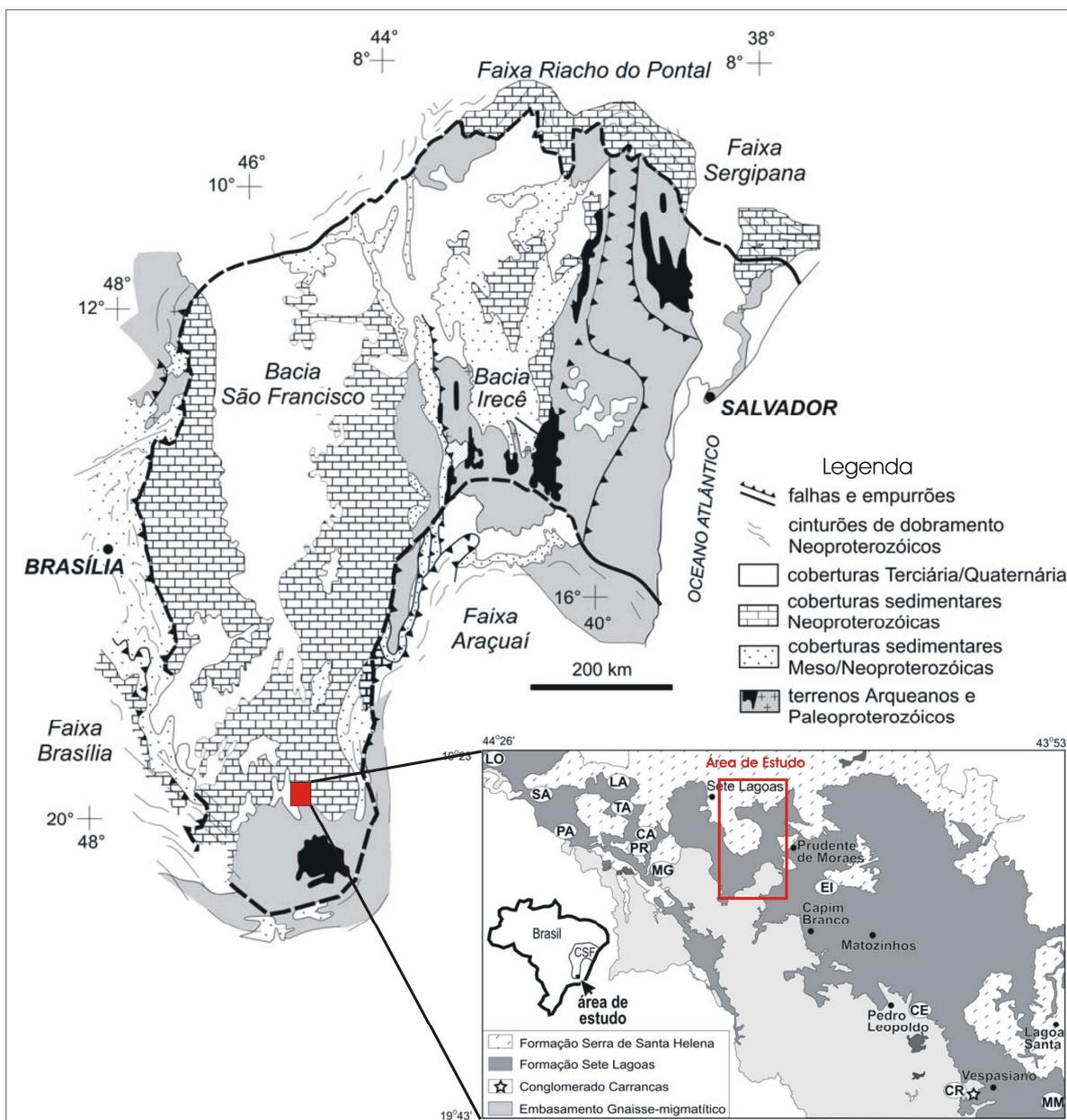


FIGURA 7.14: Mapa geológico do Crátão do São Francisco (modificado de Vieira, 2007), com a localização da área de estudo.

A geologia da área de estudo é representada pelos litotipos do Grupo Bambuí que possuem origem na sedimentação carbonática e pelítica, representados pelas Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, sobrepostas ao embasamento gnáissico-migmatítico (Ribeiro *et al.*, 2003). Esses litotipos, às vezes, são encontrados com elevado grau de alteração, bastante intemperizados e com processos de pedogênese avançados.

A distribuição de tais formações geológicas na área de estudo pode ser visualizada no mapa da FIG. 7.15. Observa-se que as rochas carbonáticas pertencentes ao membro Lagoa Santa aparecem expressivamente na área do CNPMS, seguidas das rochas pelíticas da formação Serra de Santa Helena, que dominam a parte oeste e norte da área. A descrição de cada uma delas está apresentada a seguir e foi baseada nos estudos de Pessoa (1996), Ribeiro *et al.* (2003), Silva (2003) e Pessoa (2005).

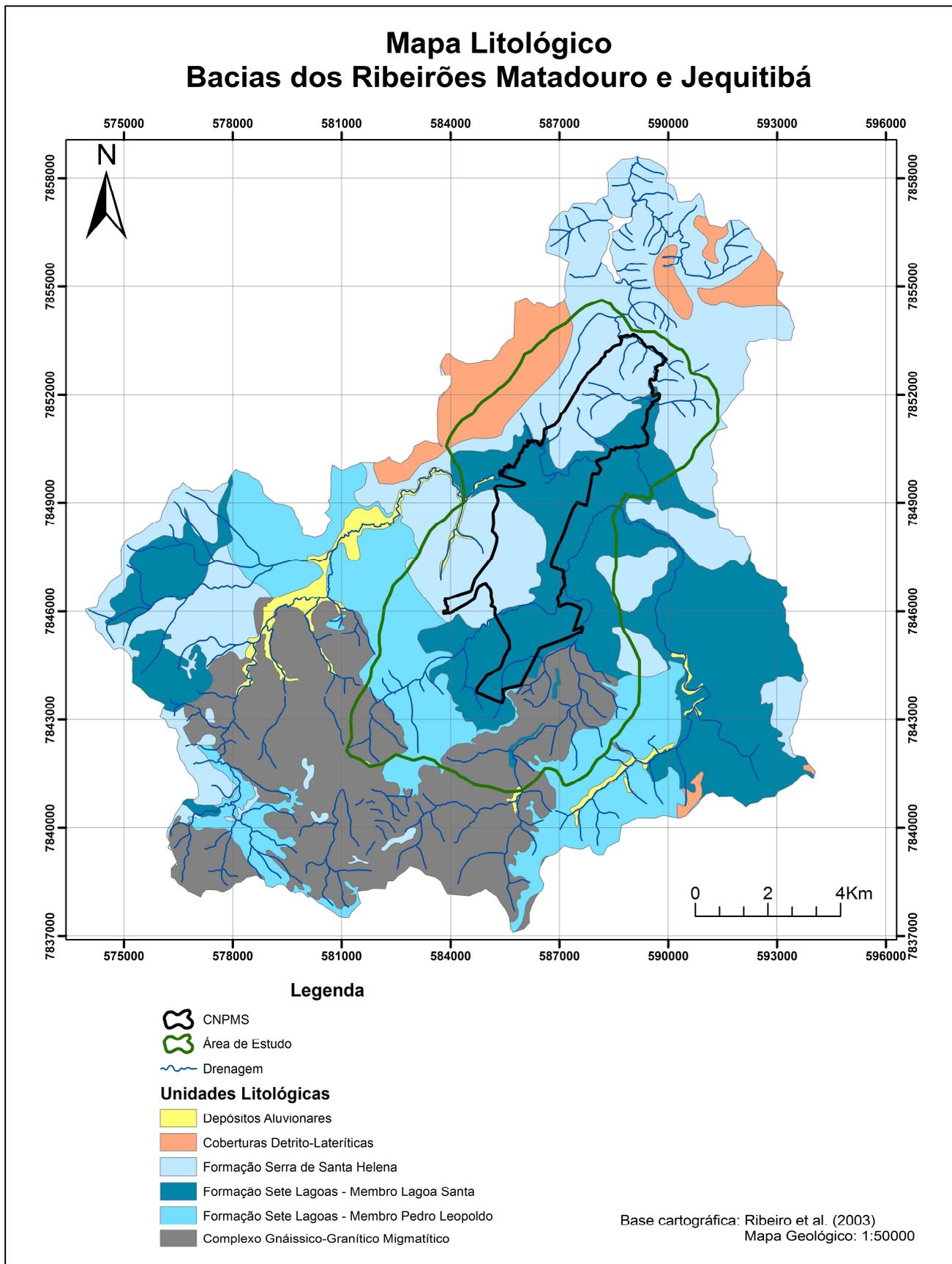


FIGURA 7.15: Mapa litológico da área de estudo.

Embasamento Gnáissico Migmatítico (Complexo Belo Horizonte)

O Complexo Gnáissico-Migmatítico constitui a base sobre a qual foram depositados os sedimentos que deram origem ao Grupo Bambuí. Os terrenos de gnaiss e migmatitos são caracterizados por uma morfologia de morros arredondados, contendo ou não mata densa e afloram em algumas drenagens e em cortes de estrada.

Segundo Pessoa (1996), este complexo cristalino apresenta-se bastante escalonado, evidenciando sinais de basculamento em blocos, cujo contato com as rochas supracrustais ocorre de forma discordante e brusca

As rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico são litologicamente bem diversificadas, havendo dentro da área de estudo raros afloramentos. O principal deles, mostrado na FIG. 7.16, é uma antiga pedreira explorada pela prefeitura de Sete Lagoas, localizada na Fazenda das Perobas.



FIGURA 7.16: Vista geral do afloramento do cristalino conhecido como pedreira da prefeitura, localizado na Fazenda das Perobas – Sete Lagoas.

O embasamento cristalino também encontra-se exposto na região de contato com os calcários do Grupo Bambuí, na parte sul da área de estudo, formando um vale encaixado por onde são drenadas as águas do Ribeirão Jequitibá, mostrado na FIG. 7.17.



FIGURA 7.17: Ribeirão Jequitibá fluindo sobre as rochas do cristalino.

Formação Sete Lagoas

A Formação Sete Lagoas apresenta-se constituída por camandas de características distintas, sendo divididas em dois membros de acordo com as características sedimentológicas e estratigráficas. O membro inferior é denominado de Pedro Leopoldo e o superior de Lagoa Santa.

As características regionais da Formação Sete Lagoas, segundo Ribeiro *et al.* (2003), sugerem a existência de um mar epicontinental na época de sua deposição, cobrindo extensas áreas continentais extremamente rasas e com declives pequenos, restringindo a circulação da água e provocando sua hipersalinização.

Ribeiro *et al.* (2003), sugeriu três ciclos de sedimentação, denominados respectivamente de I, II e III. O ciclo I representa a primeira transgressão marinha, inundando as partes mais baixas do continente e dando origem aos calcários finos e claros do Membro Pedro Leopoldo; o ciclo II representa um ambiente regressivo, concorrendo para sedimentação dos calcários grosseiros e escuros pertencentes ao Membro Lagoa Santa. Posteriormente, uma nova transgressão marinha (ciclo III), cobriria toda a plataforma, com siliciclásticos finos (metassiltitos e metargilitos) que compõem a Formação Serra de Santa Helena (FIG. 7.18).

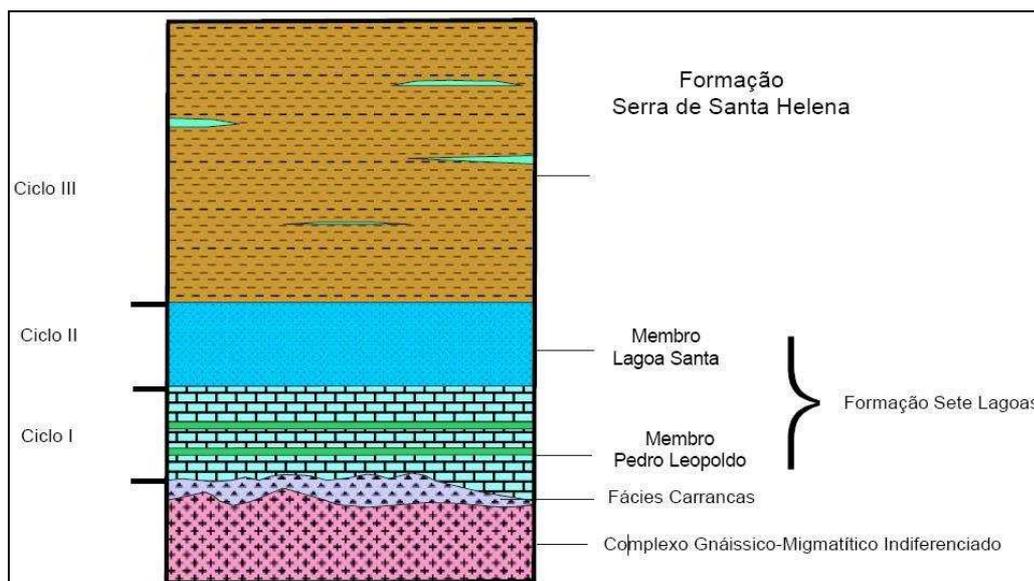


FIGURA 7.18: Representação esquemática dos ciclos de sedimentação I, II e III.
 Fonte: Ribeiro *et al.* (2003).

• **Membro Pedro Leopoldo**

Segundo Pessoa (1996) o membro Pedro Leopoldo corresponde a um calcissilito, caracterizado como calcário cinza muito laminado, apresentando-se invariavelmente com impurezas argilosas e deformação incipiente interestratal, constituído por quatro litofácies, caracterizadas de acordo com seu tipo local, da seguinte maneira:

- Fácies A (Centro de Sete Lagoas) – Corresponde a um calcário cinza a cinza-claro, em camadas tabulares, delgadas e contínuas, com intercalações delgadas e escuras de metapelitos;
- Fácies B (Sudeste de Sete Lagoas) – Trata-se de um calcário cinza a cinza-escuro com intercalações mais escuras de metapelite e interdigitações de calcários ainda mais escuros, onde se observa deformação branda do tipo interestratal;
- Fácies C (Oeste de Sete Lagoas) – Corresponde a um calcário cinza-claro, esverdeado a marrom e creme com intercalações escuras de metapelite, com a presença de estratificações cruzadas plano-paralelas; e,
- Fácies D (Sul de Sete Lagoas) – Refere-se a uma marga de cor cinza-clara e rósea, finamente laminada, pouco deformada, intercalada por estratos mais finos (argilosos), com pequenas dobras.

Por ser constituído por carbonatos finos e impuros, o Membro Pedro Leopoldo possui proporção expressiva de material não-carbonático, o que os tornaria menos favoráveis à dissolução e à formação de cavernas.

Segundo Ribeiro *et al.* (2003), essa unidade está em contato tectônico com o complexo gnáissico migmático, o que é evidenciado pela presença de feições deformacionais nas rochas, indicando a existência de um descolamento basal.

- **Membro Lagoa Santa**

Formado basicamente por calcarenitos, espatitos e calcilutitos, o membro Lagoa Santa é composto por duas litofácies que foram caracterizadas por Pessoa (1996) e cuja descrição é apresentada a seguir.

- Fácies A – (Meio oeste de Sete Lagoas) – Refere-se a um calcário cinza-escuro a preto, com grânulos arredondados, em camadas tabulares contínuas e pouco espessas. Exibem característica peculiar de odor fétido, quando partido. São observadas pequenas falhas assimétricas, com vergência para oeste, e veios de calcita; e,
- Fácies B – (Centro oeste de Sete Lagoas) – Caracteriza-se pela presença de calcários estromatolíticos, constituindo biolititos de forma alongada, ligeiramente achatados e estirados ao longo do plano de foliação. Essas litofácies apresentam-se localmente com espessura em torno de 5 metros.

Segundo Silva (2003), os calcários do Membro Lagoa Santa são fortemente predispostos à dissolução por serem homogêneos e grosseiros. Essa solubilidade é evidenciada pela presença, em sua área de ocorrência, de um típico relevo cárstico.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2003) o Membro Lagoa Santa ocorre sobrepondo o Membro Pedro Leopoldo, geralmente em contato brusco, através de falha de descolamento, onde, nas suas proximidades, observa-se maior intensidade de veios de calcita/quartzo, concordantes/discordantes. Sobrepondo essa unidade, tem-se os siltitos/argilitos e arenitos da Formação Serra de Santa Helena.

Os calcários da formação Sete Lagoas afloram preferencialmente nas partes mais baixas da área de estudo ou próximos às drenagens. No CNPMS, há uma gruta principal, denominada gruta da Pontinha.

A gruta da Pontinha apresenta um conjunto de fendas de dissolução, profundas, caracterizando uma malha ortogonal, certamente formadas a partir de uma estrutura originalmente fraturada ortogonalmente. No seu interior, notam-se frequentes condutos de dissolução, com marcas de direção de fluxo d'água bem preservadas, de dimensões variando de centimétricas a alguns metros (FIG. 7.19).



FIGURA 7.19: Afloramentos de calcário carstificado (Gruta da Pontinha).

Apesar da pouca expressão superficial de calcários dentro dos limites da área do CNPMS, no seu entorno ocorrem expressivos afloramentos de calcário, particularmente ao sul.

Formação Serra de Santa Helena

Segundo Pessoa (1994) a Formação Serra de Santa Helena compreende litotipos de origem siliciclásticas com raros sedimentos carbonáticos. São argilitos e siltitos intercalados com lentes esparsas de margas e calcarenitos muito finos, de espessura variada.

Na área de estudo é representada por siltitos/argilitos caracterizados pela coloração amarelada, com laminação plano – paralela, com alternância de silte amarelo e argilas avermelhadas em geral com alto grau de intemperismo. Essas rochas estão intensamente cortadas por veios de quartzo, que se espalham como cascalheiras recobrimdo o solo argiloso.

Os metapelitos afloram preferencialmente nas cotas mais altas da área de estudo. A FIG. 7.20 ilustra um afloramento de metapelito, com a preservação das estruturas laminadas.

As expressões litológicas características desta formação, ou dela originadas, são representadas pelas cascalheiras com material variado, rochas com diferentes graus de intemperismo (variando de fracamente intemperizada a rochas com estruturas bem preservadas) e saprolitos com níveis de cascalho e frequentes veios de quartzo.



FIGURA 7.20: Afloramento de metapelito na área de estudo.

Coberturas Superficiais

A região caracteriza-se por apresentar espessas camadas de solos, recobrimdo os vales, as dolinas e os topos planálticos. Esse material corresponde, segundo Pessoa (1996), a depósitos colúvio-aluvionares quaternários, onde os detritos mais recentes são representados pelas aluviões dos leitos atuais do Ribeirão Jequitibá.

7.7 Caracterização da subsuperfície da área de estudo

A caracterização da subsuperfície da área de estudo foi realizada através da perfuração de furos de sondagem com trado manual e mecânico, acompanhamento da perfuração e instalação da rede de poços de monitoramento hidrogeológico e de qualidade da água subterrânea, e medidas de infiltração da água no solo, utilizando o permeâmetro de Guelf.

7.7.1 Furos de sondagem

Os furos de sondagem foram executados com trado manual e mecânico (FIG. 7.21), com o objetivo de detalhar a geologia de superfície local.



FIGURA 7.21: Trado manual e Trado mecânico utilizados na execução dos furos de sondagem.

A localização dos furos de sondagem foi previamente definida através de seções traçadas no mapa geológico, e da identificação das respectivas vias de acesso. Foram desenvolvidos 19 furos de sondagem distribuídos ao longo de seis seções (AA`, BB`, CC`, DD`, EE` e FF`). As características gerais dos furos estão apresentadas na TAB. 7.3 e suas localizações nas seções podem ser visualizadas na FIG. 7.22.

TABELA 7.3: Características gerais dos furos de sondagens.

Identificação do furo	Coordenadas (UTM)		Altitude (m)	Profundidade (m)
	E	N		
A1	586667	7846145	723	9,00
A2	587252	7846185	725	9,50
A3	587036	7846102	723	5,30
A4	586179	7846318	720	6,00
B1	587075	7848219	704	3,65
B2	587243	7848007	720	6,20
B3	585914	7849118	740	9,50
B4	586377	7848976	738	6,30
C1	586712	7850002	708	3,75
D1	588306	7850871	702	4,25
D2	586978	7850163	715	1,00
D3	586166	7850593	716	4,10
D4	587171	7850406	733	5,60
E1	585372	7848195	804	10,40
E5	589343	7848443	713	1,00
F1	587627	7849430	728	6,50
F2	587627	7849430	707	5,80
F3	585759	7849877	717	5,60

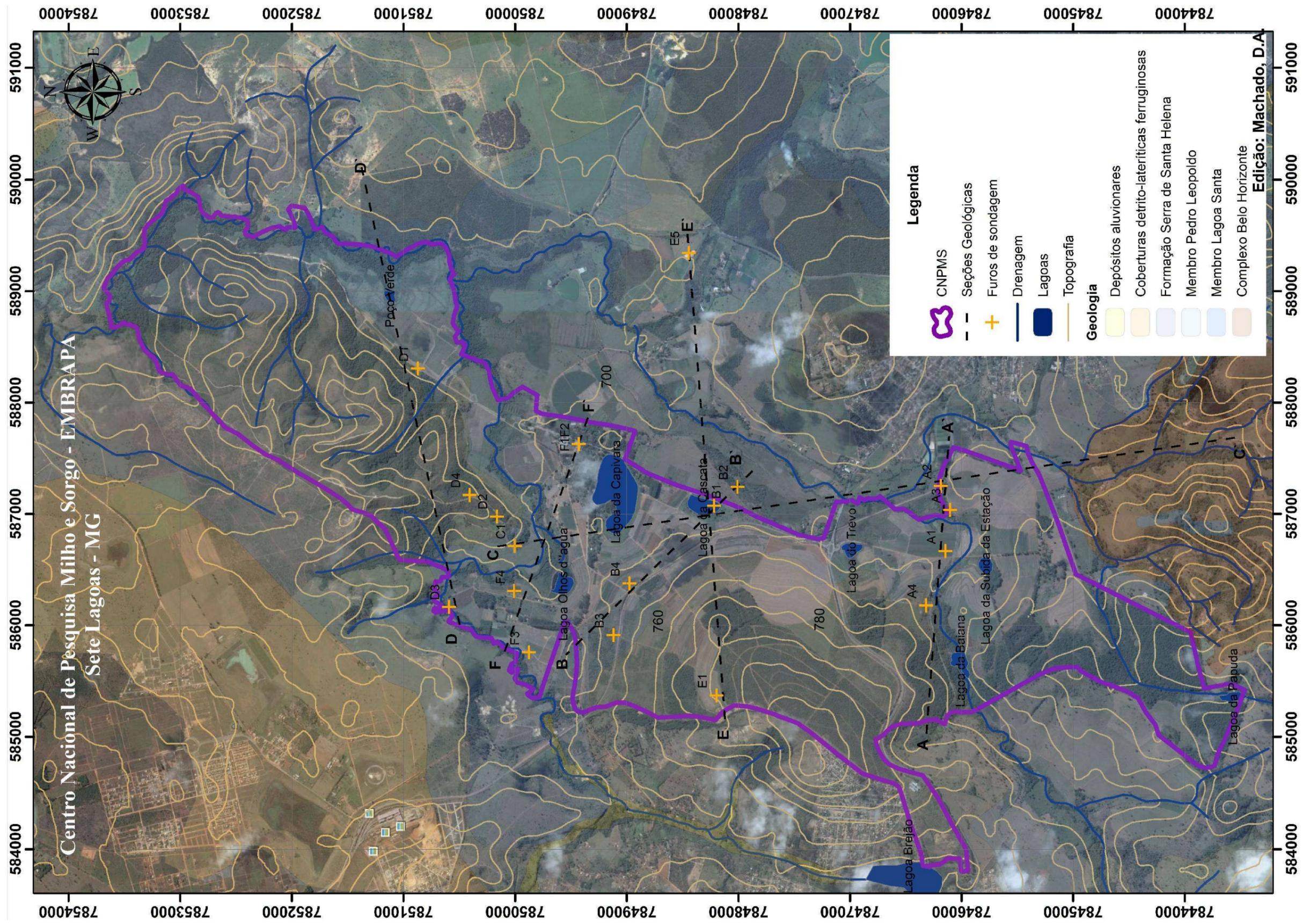


FIGURA 7.22: Localização das seções e dos furos de sondagem.

No total, foram realizados 107 m de perfuração, sendo que os perfis variaram de 1 m a 10,40 metros de profundidade, dependendo das características do local, como a profundidade do lençol freático, a resistência do material à perfuração, e a presença de níveis de cascalho (“stone line”). A FIG. 7.23 ilustra um caso em que um nível de cascalho foi atingido a uma profundidade de cerca de 4 metros, no furo D3.



Coordenadas: 0586166 / 7850593

FIGURA 7.23: Imagem ilustrando o nível de cascalho encontrado a 4.10 m de profundidade no furo D3.

Durante a execução dos furos de sondagem foram coletadas amostras de sedimentos a cada percepção de alteração do material geológico. As amostras foram descritas macroscopicamente de forma qualitativa em relação à textura, estrutura, cor e teor de umidade. Os arquivos gráficos e descrições dos horizontes de todos os perfis estão apresentados no Anexo II. Após a descrição qualitativa das amostras, elas foram devidamente acondicionadas e identificadas para futuras análises físico - químicas (ensaios granulométricos, análises mineralógicas e composição química).

A partir das descrições macroscópica e qualitativa do material geológico amostrado, foi possível distinguir, preliminarmente, três horizontes litológicos, sendo eles:

- horizonte A – solo superficial de coloração escura, às vezes, quase negra, característica da presença de matéria orgânica decomposta, alcançando uma profundidade de até 0,6 m;

- horizonte B – latossolo vermelho ou vermelho amarelo argiloso, com textura e estrutura variável; com profundidade de 0,6 m a 5 m; e,
- horizonte C – saprolito marrom-amarelo, possivelmente originado de rochas pelíticas, argiloso, às vezes com textura de arenosa, variável, ou com fragmentos de quartzo;

7.7.2 Poços de monitoramento

Entre os meses de janeiro a abril de 2010, foram construídos pela empresa Hidropoços (contratada pela COPASA), vinte e três (23) poços de monitoramento hidrogeológico e da qualidade da água subterrânea, dentro da área do CNPMS. A construção desses poços foi devidamente acompanhada pelos integrantes do projeto o qual esta pesquisa está inserida.

Os poços foram construídos de acordo com normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas–ABNT, a saber: normas NBR 12212 e 12244 , que estabelecem os critérios e condições necessárias para projetar e construir poços para captação de água subterrânea; e, norma NBR 13895 que estabelece os critérios e condições necessárias para construção de poços de monitoramento em aquífero freático e as condições mínimas para instalação de rede de monitoramento nesses aquíferos.

Para execução desses furos foi utilizada uma sonda a percussão, conforme apresentado na FIG. 7.24.



FIGURA 7.24: Sonda a percussão utilizada na perfuração dos poços de monitoramento.

Os dados construtivos e os perfis litológicos desses poços estão apresentados no Anexo IV. As coordenadas e altitudes dos poços foram obtidas a partir de um levantamento planialtimétrico realizado pela empresa Mirante Topografia (contratada pela COPASA). Os dados referentes às coordenadas, localização, altitude e profundidade dos poços estão apresentados na TAB. 7.4, e a FIG. 7.25 apresenta suas localizações na área do CNPMS.

TABELA 7.4: Dados cadastrais dos poços de monitoramento.

ID do Ponto	Localização do Ponto	Coordenadas (UTM)		Altitude (m)		Profundidade (m)
		E	N	Base do Poço	Boca do tubo	
PC-01	MNA - Montante1 – Alto dos Pinheiros	586.015,343	7.848.047,199	802,54	803,04	42,50
PC-02	MNA – Centro do Pivot 1	586.698,559	7.848.061,096	753,14	753,76	30,00
PC-03	MNA - Centro do Pivot 3	586.388,313	7.847.585,315	772,94	773,50	25,00
PC-04	MNA – Próximo ao viaduto sobre a estrada de ferro	586.322,611	7.849.076,019	744,15	744,79	40,00
PC-05	MNA – A montante da lagoa da Capivara – Lizímetros	586.630,385	7.848.708,297	734,52	735,18	52,00
PC-06	MNA – Margem da Lagoa da Capivara	587.069,055	7.848.939,688	715,09	715,63	6,00
PC-07	Piezômetro – Margem da Lagoa da Capivara	587.069,055	7.848.939,688	715,09	715,68	38,00
PC-08	MNA – Margem da Lagoa Olhos d’Água	586.456,597	7.849.513,539	711,49	712,34	8,00
PC-09	MNA – Margem da Lagoa do Trevo	586.706,657	7.847.137,118	726,37	726,85	6,00
PC-10	MNA – Quarteirão da sede da EMBRAPA	587.633,733	7.849.438,647	712,53	713,11	9,00
PC-11	MNA – Quarteirão da sede da EMBRAPA	587.661,827	7.849.434,830	711,58	712,15	9,00
PC-12	MNA – Margem da estrada para o Alto dos Pinheiros	586.247,142	7.848.537,913	763,68	764,24	25,00
PC-13	MNA – Próximo da ponte sobre o córrego do Matadouro	587.299,824	7.849.802,400	706,40	706,96	8,00
PC-14	MNA – Próximo da portaria principal da EMBRAPA	586.817,632	7.847.584,055	732,06	732,55	15,00
PC-15	MNA – Entre o ponto PC-14 e o viaduto da estrada de ferro	586.871,099	7.848.201,790	734,12	734,58	15,00
PC-16	MNA – Margem da Lagoa Cascatinha	587.061,21	7.848.231,241	720,45	720,94	6,00
PC-17	MNA – Junto à estação meteorológica	586.772,239	7.845.381,677	755,80	756,38	30,00
PC-18	MNA – Área Sul, à margem da estrada para Fazenda Mauro	586.103,171	7.845.526,110	764,46	765,37	40,00
PC-19	MNA - Centro Pivot 2	587.166,839	7.845.652,864	737,58	738,06	20,00
PC-20	MNA - Centro Pivot 4	587.255,587	7.846.036,277	736,12	736,61	30,00
PC-21	MNA - Norte Pivot 4	587.260,68	7.846.185,674	729,69	730,25	20,00
PC-22	MNA - Oeste Pivot 4	587.043,10	7.846.106,839	726,26	726,59	10,00
PC-23	MNA - Margem da estrada da Lagoa da Subida da Estação	586.686,13	7.845.779,366	726,75	727,22	6,00

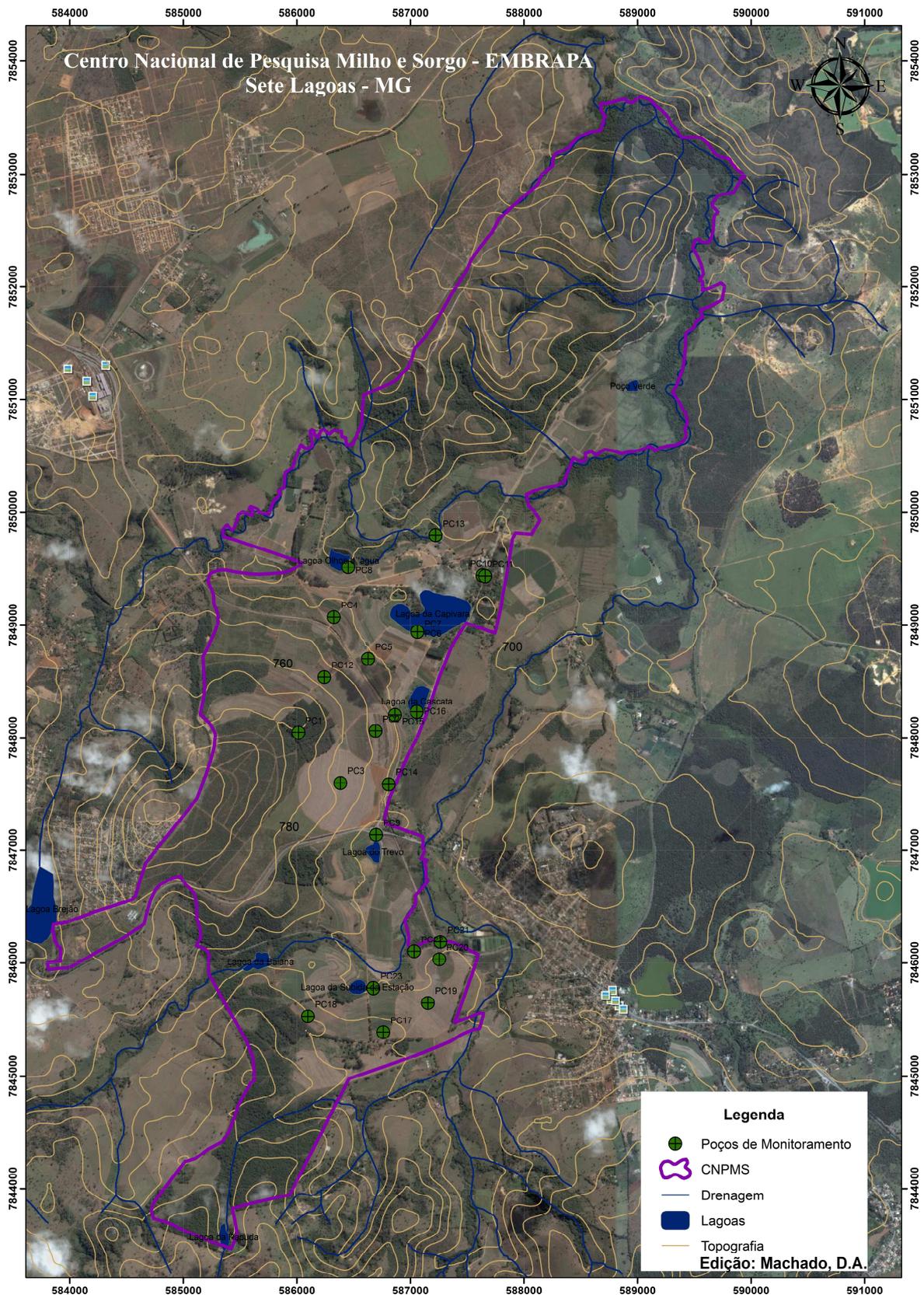


FIGURA 7.25: Localização dos poços de monitoramento na área do CNPMS.

Dos 23 novos poços, 22 se caracterizam como medidores do nível d'água (MNA) e foram perfurados em material não consolidado, com o filtro instalado em toda a extensão do intervalo de variação da superfície freática. Trata-se de poços de monitoramento de água do aquífero livre. Um único poço, qual seja PC-07, se caracteriza como um piezômetro, com o filtro instalado a uma profundidade de 35 metros, no interior da formação calcária.

Como observado na TAB. 7.5 as profundidades alcançadas por esses poços situam-se no intervalo de 6 a 52 m, sendo que o substrato rochoso foi alcançado nas seguintes profundidades: a 34 metros, no poço PC-7; a 52 metros, no poço PC-5; e, a 42 m, no poço PC-1.

Conforme observado em campo, de maneira qualitativa, pode-se admitir que do primeiro metro nestes poços, até cerca de 6 a 8 m de profundidade, encontra-se um latossolo vermelho, ou vermelho amarelo. Desta profundidade, até o fundo, prevalece um material amarelo, de textura variada, que pode ser originado do intemperismo, *in situ*, da rocha-matriz, ou seja, um saprolito derivado dos metapelitos da Formação Serra de Santa Helena, o membro superior do Grupo Bambuí, na área.

Essas informações, associadas às profundidades das sondagens a trado, permitem admitir que sobre o calcário assenta-se uma camada de material não consolidado, com espessura bastante variável.

Através dos materiais amostrados dos furos de sondagem e dos poços de monitoramento foi possível identificar que o material de maior expressividade nas camadas superiores do terreno, na área de estudo, corresponde a litotipos da Formação Serra de Santa Helena. Além disso, eles aparecem nos extensos cortes da ferrovia que atravessa a área, longitudinalmente, e na superfície do terreno, onde às vezes confunde-se com o solo.

Medidas de nível d'água

Após a finalização dos procedimentos de perfuração dos poços, foram iniciadas as campanhas de medidas de nível d'água nestes poços. As campanhas foram realizadas em 28 e 29 de abril de 2010 e 28 e 29 de outubro de 2010.

O nível estático dos 23 poços foi obtido utilizando-se um medidor de nível d'água com sinal sonoro, modelo HSNA – 100, fabricado pela Hidrosuprimentos (também conhecido como Pio). A FIG. 7.26 ilustra uma medida realizada na cisterna da fazenda do Tavares e o detalhe do equipamento utilizado. Os dados obtidos estão disponíveis na TAB. 7.5.



Medida do nível d'água na cisterna da fazenda do Tavares

Medidor de Nível d'água

FIGURA 7.26: Imagem ilustrativa do procedimento de medida do nível d'água e o detalhe do equipamento utilizado.

TABELA 7.5: Medidas de nível d'água realizadas nas campanhas de abril e outubro de 2010.

ID do Ponto	Altitude (m)	Profundidade do poço (m)	Campanha 28-29 de abril de 2010		Campanha 28-29 de outubro de 2010	
			Profundidade do nível d'água ¹ (m)	Cota do nível d'água ¹ (m)	Profundidade do nível d'água ¹ (m)	Cota do nível d'água ¹ (m)
PC-01	802,54	42,50	29,23	773,31	29,26	773,28
PC-02	753,14	30,00	16,17	736,97	20,14	733,00
PC-03	772,94	25,00	11,69	761,25	15,79	757,15
PC-04	744,15	40,00	32,35	711,80	33,36	710,79
PC-05	734,52	52,00	15,60	718,92	16,66	717,86
PC-06	715,09	6,00	2,04	713,05	3,02	712,07
PC-07	715,09	38,00	4,40	710,69	5,41	709,68
PC-08	711,49	8,00	1,02	710,47	1,42	710,07
PC-09	726,37	6,00	1,59	724,78	2,16	724,21
PC-10	712,53	9,00	4,27	708,26	6,65	705,88
PC-11	711,58	9,00	3,35	708,23	5,75	705,83
PC-12	763,68	25,00	15,99	747,69	17,72	745,96
PC-13	706,40	8,00	1,74	704,66	2,37	704,03
PC-14	732,06	15,00	10,04	722,02	13,83	718,23
PC-15	734,12	15,00	8,69	725,43	12,50	721,62
PC-16	720,45	6,00	0,99	719,46	1,45	719,00
PC-17	755,80	30,00	22,09	733,71	25,24	730,56
PC-18	764,76	40,00	23,53	741,23	25,21	739,55
PC-19	737,58	20,00	9,37	728,21	12,02	725,56
PC-20	736,12	30,00	14,15	721,97	15,63	720,49
PC-21	729,69	20,00	9,28	720,41	9,43	720,26
PC-22	726,26	10,00	4,47	721,79	4,62	721,64
PC-23	726,75	6,00	1,92	724,83	2,43	724,32

¹ Referência nível do solo

7.7.3 Determinação da condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica é uma das propriedades físicas do solo mais importantes na determinação quantitativa e qualitativa do movimento da água. Está relacionada com as propriedades tanto da água como do solo.

A condutividade hidráulica não é uma propriedade constante do solo, visto que este se encontra permanentemente, sob ação de processos físicos, químicos e biológicos, contínuos, que alteram sua estrutura, textura e composição e, conseqüentemente, sua porosidade.

A determinação da condutividade hidráulica pode ser realizada tanto por métodos de laboratório como de campo. Os métodos de laboratório apresentam o inconveniente de usarem amostras de tamanho reduzido, portanto, representativas de um pequeno volume de solo. Os métodos de campo dão resultados mais representativos, tendo em vista o maior volume de solo considerado, a preservação da sua estrutura e a condição experimental em situação mais próxima do real.

A determinação da condutividade hidráulica nos materiais representativos das camadas superiores do solo foi realizada através de medidas de infiltração utilizando o permeâmetro de Guelph, modelo 2800K1, fabricado pela empresa *SoilMoisture Equipment Corporation*. Este equipamento permite determinar a condutividade hidráulica saturada, pontualmente.

O permeâmetro de Guelph estabelece uma vazão de água, sob uma carga hidráulica constante, no ponto de medida da infiltração. O local de instalação do permeâmetro é preparado conforme ilustração apresentada na FIG 7.27.

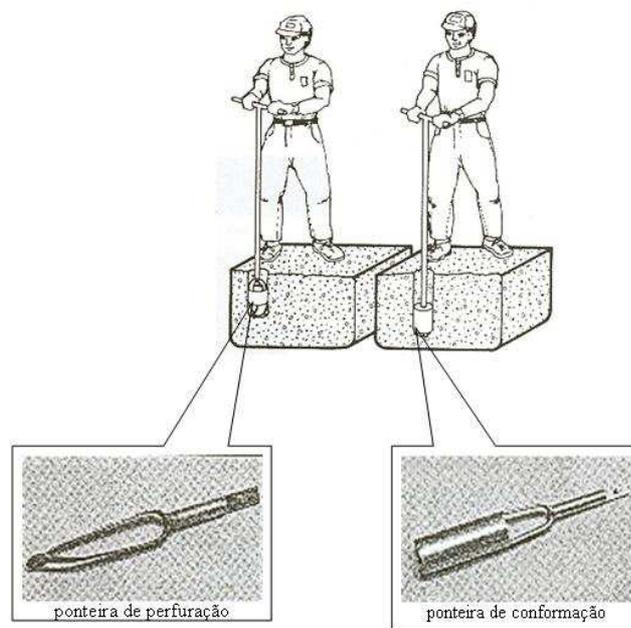


FIGURA 7.27: Perfuração do poço de infiltração.

A perfuração do poço consiste nas seguintes etapas:

- após limpar e aplainar a superfície do terreno, executa-se um furo com trado manual, usando a ponteira de perfuração que acompanha o permeâmetro, até a profundidade desejada e permitida para instalação do permeâmetro;
- em seguida, o furo é conformado com a aplicação da ponteira de conformação, cuja finalidade é aplainar o fundo e acertá-lo no diâmetro adequado à realização das medidas; e,
- finalmente, o furo é terminado com uma escova cilíndrica, ilustrada na FIG 7.28, de fios sintéticos, cuja finalidade é minimizar as interferências causadas pelo procedimento de perfuração e proporcionar uma permeabilidade apropriada à infiltração, sob carga hidráulica constante, conforme o modelo do equipamento utilizado.

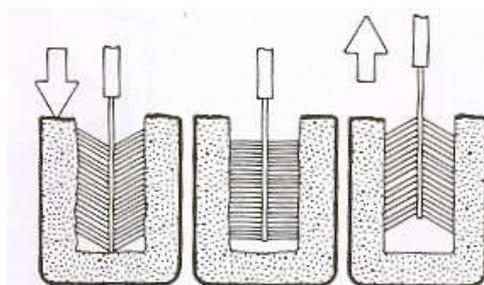


FIGURA 7.28: Escova cilíndrica utilizada na finalização do poço de infiltração.

A profundidade dos poços de infiltração foi estabelecida, a priori, com base no limite inferior do horizonte orgânico, e no limite permitido pelo equipamento utilizado. Desta forma, esses poços tiveram sua profundidade estabelecida no intervalo de 42 a 45 cm.

No procedimento de campo, após a finalização de cada poço, colocou-se uma quantidade de água de cerca de 300 mL, na expectativa de uma saturação local, visto que o procedimento de medida deve ser conduzido em solo saturado. O permeâmetro foi instalado após completar a infiltração da quantidade de água indicada.

Os poços de infiltração foram perfurados próximos dos pontos onde foram feitas as sondagens a trado, em geral a cerca de 2 m do furo do trado, nos alinhamentos pré estabelecidos mostrado no mapa da FIG. 7.22.

Na FIG. 7.29 apresenta-se um fluxograma, adaptado de *Soilmoisture Equipment Corporation* (2005), que estabelece os procedimentos e operações para preparação do terreno, preparação e instalação do permeâmetro, execução das leituras e cálculo dos parâmetros de campo. Para calcular a condutividade hidráulica saturada, as taxas de infiltração de água no solo saturado, são determinadas sob cargas constantes de 5 e 10 cm, respectivamente.

As grandezas medidas em campo e as calculadas estão descritas na TAB. 7.6.

TABELA 7.6: Grandezas medidas e calculadas em campo.

Grandeza	Símbolo	Unidade
Carga hidráulica no poço de infiltração para coluna d'água de 5 cm	H ₁	cm
Carga hidráulica no poço de infiltração para coluna d'água de 5 cm	H ₂	cm
Rebaixamento do nível d'água no reservatório	L	cm
Variação do rebaixamento do nível d'água no reservatório	ΔL	cm
Tempo gasto para cada rebaixamento da coluna d'água no reservatório	t	min
Intervalo de tempo entre duas leituras do rebaixamento, consecutivas	Δt	min
Taxa de infiltração constante com a carga hidráulica H ₁	R ₁	cm/min
Taxa de infiltração constante com a carga hidráulica H ₂	R ₂	cm/min
Condutividade hidráulica saturada	K _{sat}	cm/s
Potencial mátrico	Φ_m	cm ² /s

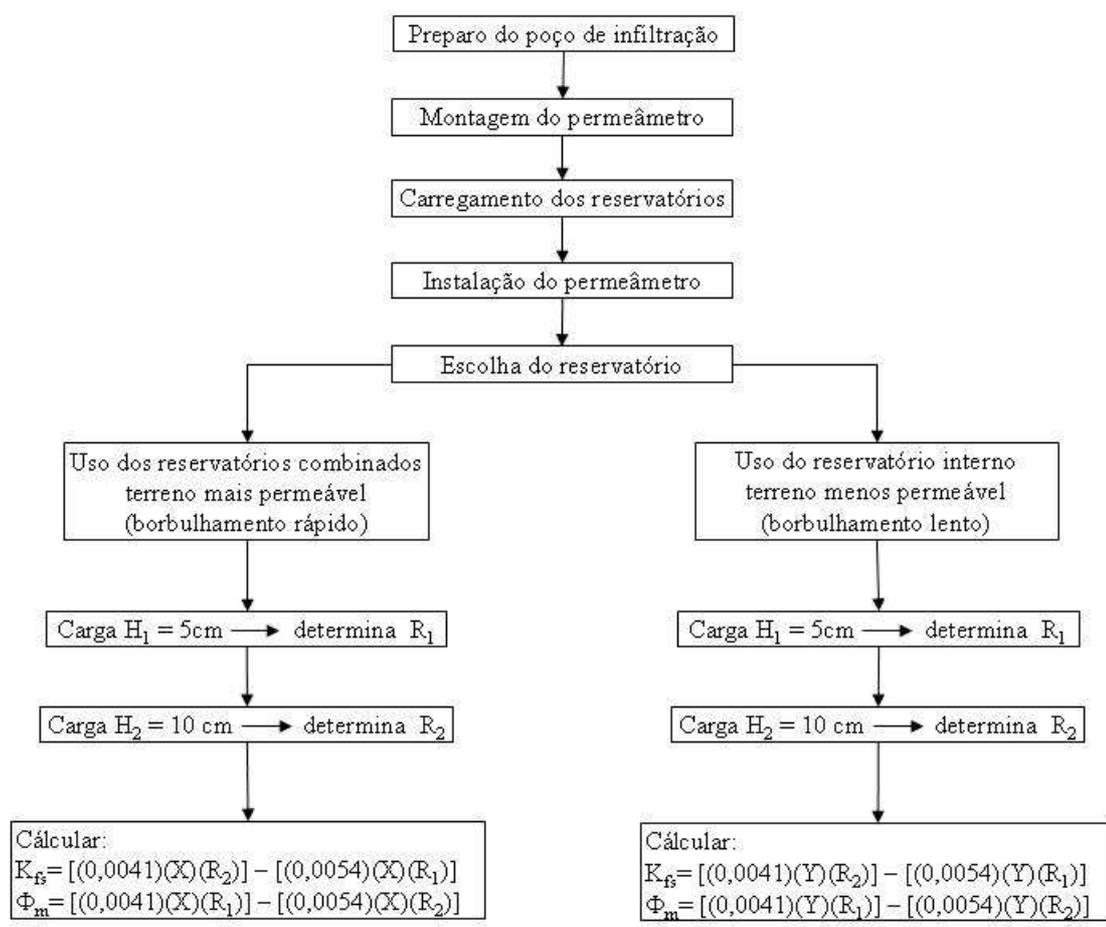
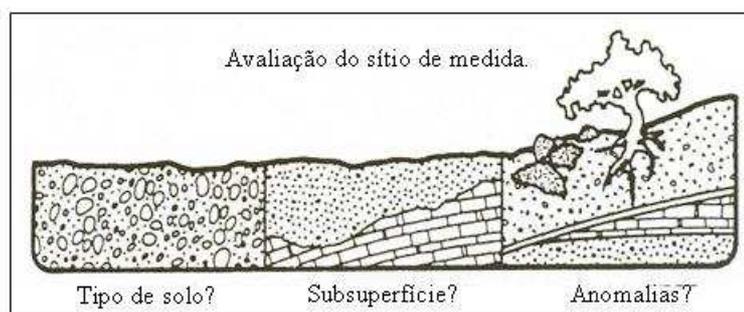


FIGURA 7.29: Fluxograma para o padrão de medições usando o permeâmetro de Guelph.

A FIG. 7.30 representa, esquematicamente, o permeâmetro de Guelph, sobre um poço de infiltração e o permeâmetro instalado em um poço de infiltração pronto para ser operado.

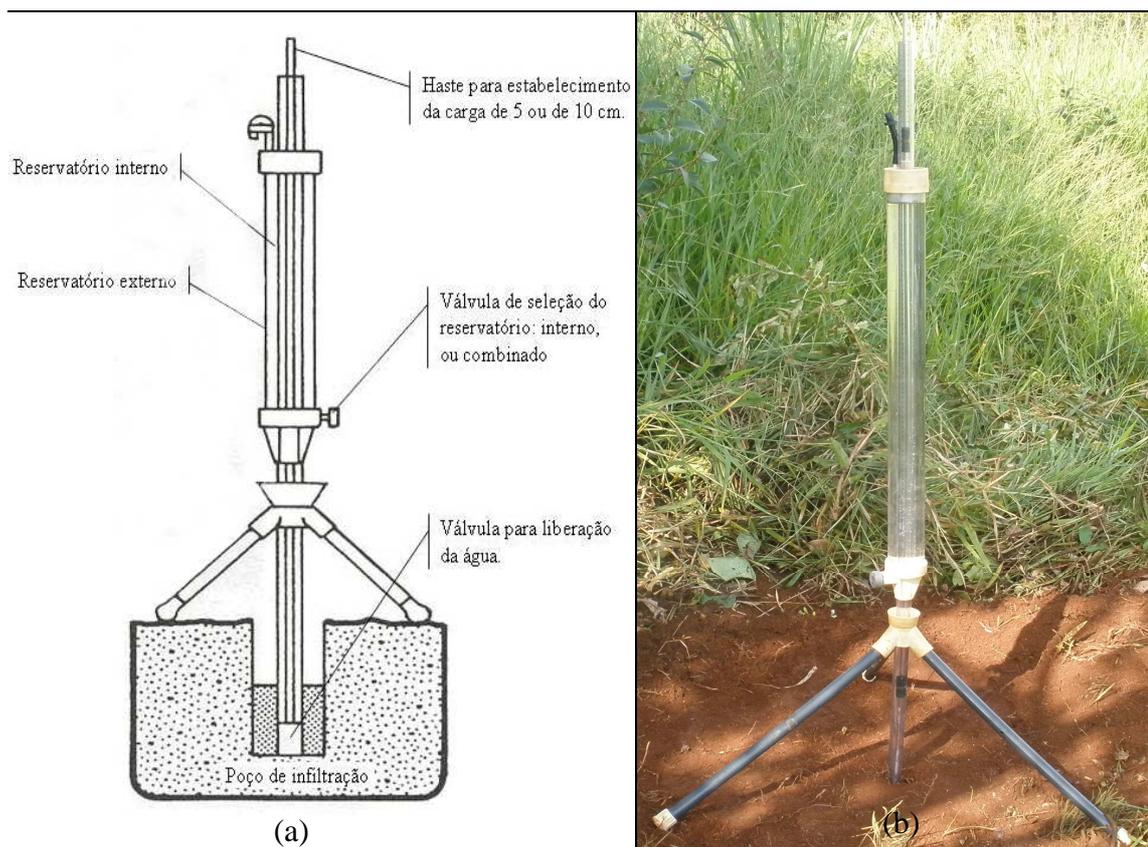


FIGURA 7.30: Esquema do permeâmetro de Guelph e o equipamento no poço de infiltração.

A FIG. 7.31 mostra um detalhe do permeâmetro, pronto para ser operado com os reservatórios combinados, conforme determina a permeabilidade do terreno.



FIGURA 7.31: Nível d'água no reservatório combinado.

Observa-se, na FIG 7.31, que o nível d'água no reservatório externo apresenta uma ligeira inclinação, o que confirma um pequeno desnivelamento do permeâmetro. Este foi um problema frequente, na instalação do equipamento nos poços de infiltração. Apesar desta dificuldade, particularmente, devida à ação do vento, procurou-se trabalhar com o nível d'água horizontalizado, o máximo possível.

Para determinação dos valores experimentais da condutividade hidráulica saturada de campo (K_{sat}), utilizou-se a Equação 7.1 quando as medidas de campo são obtidas empregando-se o reservatório combinado e a Equação 7.2 quando se emprega apenas o reservatório interno, conforme descrito no manual de operação do instrumento, SEC (1998).

$$K = (0,0041) (X) (R_2) - (0,0054) (X) (R_1) \quad (7.1)$$

$$K = (0,0041) (Y) (R_2) - (0,0054) (Y) (R_1) \quad (7.2)$$

Nestas expressões, tem-se que: X é a área da seção transversal do reservatório combinado; Y é a área da seção transversal do reservatório interno; R1 é a taxa constante de infiltração, em cm/s, obtida com a carga hidráulica de 5 cm; e, R2 é a taxa constante de infiltração, em cm/s, obtida com a carga hidráulica de 10 cm. Para o permeâmetro utilizado, os parâmetros X e Y, valem 35,22 e 2,16 cm², respectivamente, (SEC, 1998).

Os resultados das medidas realizadas com o permeâmetro de Guelf encontram-se no Anexo III. Os valores obtidos para condutividade hidráulica saturada, K_{sat} , a partir dos dados experimentais, e com a aplicação das Equações (7.1) e (7.2), estão apresentados na TAB. 7.7.

TABELA 7.7: Local das medições e condutividades hidráulicas.

Ponto	Localização (UTM)		Altitude (m)	Observações	K _{sat} (cm/s)
	E	N			
P1	587166	7845667		Centro do Pivô 2 (ponto adicional)	2.85 X 10 ⁻⁰⁵
P2	587256	7846033		Centro do Pivô 4 (ponto adicional)	1.76 X 10 ⁻⁰³
A1	586667	7846145	720	Cruzamento estrada para a vila - linha férrea	2.41 x 10 ⁻⁰⁴
A2	587252	7846185	723	Norte do Pivô 4	9.71 x 10 ⁻⁰⁵
A3	587036	7846102		Noroeste do Pivô 4	6.98 x 10 ⁻⁰⁵
A4	586179	7846318		Estrada ao lado do canal de irrigação – represa da Baiana	7.85 x 10 ⁻⁰⁶
B1	587075	7848219	704	Lagoa da Cascatinha	2.41 x 10 ⁻⁰⁴
B2	587243	7848007	695	Cerradão na Epamig	3.47 x 10 ⁻⁰⁶
B3	585914	7849118	740	Linha férrea ao final da estrada à direita do pontilhão	1.60 x 10 ⁻⁰³
B4	586377	7848976	738	Linha férrea exposição da FM. Serra de Sta. Helena	1.11 x 10 ⁻⁰⁴
D4	587171	7850406	733	Estrada sobre a Gruta da Pontinha	1.85 x 10 ⁻⁰⁵
F3	585759	7849877	717	Extremo oeste da seção FF' – Campo de cultivo atrás da AEE	1.34 x 10 ⁻⁰⁴
F4	586310	7850007	711	Próximo aos galpões na estrada para a lagoa Olhos d'Água	4.13 x 10 ⁻⁰⁵

8 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO DE CIRCULAÇÃO HÍDRICA SUBTERRÂNEA

O objetivo da modelagem matemática, conceitual ou computacional, é a representação mais próxima possível das condições reais de ocorrência e modo de circulação da água subterrânea. Esses modelos subsidiam as atividades referentes à otimização do uso das reservas hídricas, à proteção das áreas de recarga, à proteção da qualidade das águas subterrâneas e a outras.

Os aquíferos existentes no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo refletem diretamente a composição litológica, a textura do meio de percolação das águas subterrâneas e a geometria de seus respectivos litotipos associados. A seguir tem-se a descrição e atualização do modelo hidrogeológico conceitual e numérico desenvolvidos para a área de estudo.

8.1 Modelo Hidrogeológico Conceitual

Os modelos conceituais compõem uma simplificação das condições naturais de circulação das águas ou representam o entendimento das condições hidrogeológicas sobre bases tridimensionais, possibilitando explicar o comportamento dos fluidos em subsuperfície. Podem ser imprecisos ou conter simplificações, no entanto, apresentam subsídios para o conhecimento dos aquíferos e para sua gestão (Rosen & LeGran 2000).

A área de estudo foi delimitada seguindo os altos topográficos de forma a definir uma bacia, sendo assim, o fluxo d'água dentro dessa área será das bordas para o centro e de sul para norte, pois o nível de base da bacia é o Rio das Velhas que se encontra nessa direção.

Os aquíferos presentes na área de estudo correspondem a três classes distintas de rochas, sendo a primeira e mais importante, constituída pelas rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, representado, na área pelas formações Sete Lagoas (calcários) e Serra de Santa Helena (pelitos). A segunda classe corresponde aos litotipos do embasamento cristalino, representado por gnaisses e migmatitos; e a terceira, refere-se essencialmente aos materiais de alteração das rochas supracitadas, os quais distribuem-se de acordo com a intensidade de transporte - alúvios, colúvios e elúvios.

Baseado na descrição geológica da área de estudo, pode-se constatar a existência de quatro tipos de aquíferos:

- Aquífero Granular, constituído pelas coberturas superficiais;
- Aquífero Cárstico, representado pelas rochas da Formação Sete Lagoas (calcários);
- Aquífero Fraturado-Cárstico, associados à presença de intercalações entre as rochas pelíticas e lentes calcárias que ocorrem na Formação Serra de Santa Helena; e,
- Aquífero Fraturado, presente no domínio do Complexo Gnáissico-Migmatítico.

Cada uma dessas unidades aquíferas, será descrita a seguir.

8.1.1 Aquífero Granular

As características hidráulicas desses aquíferos são muito variáveis sendo, que na região, o principal fator de diferenciação é o material de origem do solo. Destacam-se na área dois tipos principais de solos, os Latossolos presentes na maior parte da área, tendo como material de origem as rochas pelíticas e suas coberturas associadas, e os cambissolos que se encontram associados à presença da rocha pelítica típica da Formação Serra de Santa Helena.

Durante os trabalhos de campo para a caracterização da subsuperfície da área de estudo, foi possível notar a presença do material detrito-laterítico da Formação Serra de Santa Helena em todos os pontos descritos na área do CNPMS.

Os latossolos, conforme já descrito anteriormente, são muito argilosos, mas podem apresentar condutividade elevada devido ao arranjo estrutural dessas partículas em forma de micro agregados.

Já os cambissolos são caracterizados por apresentarem duas camadas distintas; uma fina camada de material cascalhento que apresenta algum grau de cimentação, e uma camada de material silto-argiloso bastante compacto com estrutura laminar.

É importante ressaltar que o aquífero granular apresenta conexão hidráulica com as águas superficiais podendo receber água dos rios nos períodos chuvosos e fornecer água para manter o fluxo de base durante a seca.

São considerados por Mourão *et. al.* (2001) como aquíferos pouco produtivos, mas importantes no processo de recarga dos aquíferos subjacentes através da infiltração vertical,

além de funcionarem como filtros, condicionando a qualidade da água em subsuperfície, sendo de vital importância no contexto hidrogeológico local.

Esses aquíferos são explorados na região por meio da escavação de cisternas e cacimbas, com profundidade máxima de 20 m. Sua utilização é principalmente para abastecimento doméstico sendo que, no CNPMS, tais águas têm apenas uso laboratorial visto que as águas de origem cárstica do poço que abastece o centro de pesquisa apresentam um alto grau de dureza.

8.1.2 Aquífero Cárstico

O aquífero cárstico corresponde à faixa de rochas calcárias, onde o fluxo e o armazenamento estão condicionados por condutos de fraturas alargadas por dissolução do material carbonático.

Os sistemas cársticos são formados pela dissolução de rochas carbonáticas na presença de águas naturais, ricas em ácido carbônico gerado pela reação entre a água e o gás carbônico presente na atmosfera e no solo. Este ácido carbônico reage com os carbonatos provocando sua solubilização.

As rochas calcárias mais puras são mais suscetíveis à solubilização, o que faz com que as áreas de presença do Membro Lagoa Santa apresentem um grau de carstificação mais elevado.

A recarga dos aquíferos cársticos se dá, segundo Mourão *et. al.* (2001), em áreas de afloramento das rochas carbonáticas, em locais onde há drenança a partir dos aquíferos granulares sobrepostos e em zonas de absorção cárstica de águas subterrâneas condicionadas pela presença de dolinas e sumidouros.

Na área em estudo, pode-se constatar uma ampla área de recarga localizada na porção central coincidente com o afloramento da Formação Sete Lagoas em um terreno plano, onde a densidade de drenagem torna-se muito baixa e onde alguns córregos perdem carga em pequenos trechos.

A descarga natural desses aquíferos ocorre, segundo Pessoa (1996), quando o volume infiltrado atinge zonas de circulação lenta e mais profunda, na forma de uma recarga efetiva, e/ou escoar ao longo dos condutos endocársticos rumo ao Rio das Velhas, que é o nível de

base regional, visto que o embasamento cristalino não funciona como um receptor de água. A descarga também pode ocorrer artificialmente, por meio da exploração da água subterrânea através de poços tubulares.

A TAB. 8.1, apresentada no Anexo I, apresenta as informações dos pontos d'água (poços tubulares, poços escavados, nascentes, poços de monitoramento da qualidade da água), existentes na área de estudo. Nota-se que a profundidade do calcário varia de 10 metros a 100 metros.

Dentro do CNPMS, existem quatro poços tubulares, sendo dois deles jorrantes. Esses poços têm profundidade em torno de 70 m, sendo que os poços não jorrantes apresentam nível estático de aproximadamente 5 m.

Toda a água para consumo humano utilizada no CNPMS tem origem nesses poços tubulares, sendo que suas vazões médias são 312 m³/dia para o par de poços principal (bombeados alternadamente) e de 150 m³/dia para os poços jorrantes.

8.1.3 Aquífero Fraturado-Cárstico

Os aquíferos fissurados-cársticos, segundo Mourão *et al.* (2001), associam-se à existência de pacotes rochosos em que se verifica a mistura ou alternância de frações argilo-siltosas e carbonáticas. Esses sistemas apresentam aspectos hidráulicos contrastantes e variando desde aquíferos fissurados a aquíferos cársticos, passando por características intermediárias aos dois.

O fluxo nesses aquíferos está relacionado às fraturas existentes nas rochas ardósianas que, devido à presença de lentes calcárias, podem se alargar pela dissolução da rocha tornando o fluxo mais concentrado.

O processo de infiltração mais eficaz, de acordo com Pessoa (1996), ocorre ao longo das zonas mais intensamente fraturadas em que metassedimentos encontram-se com espessura em torno de 60 m. Nas zonas cobertas por espessos mantos de intemperismo a recarga é lenta e só ocorre através de filtrações verticais descendentes, ou ainda em zonas congruentes aos cursos d'água em que o talvegue corresponde a traços do tipo “riacho-fenda”.

A descarga do aquífero é feita principalmente por meio de drenança para o aquífero cárstico subjacente, sendo que a área de descarga coincide com a sua área de recarga associada ao maior grau de fraturamento, o que também aumenta o processo de carstificação.

A presença desse tipo de aquífero na região é pouco comum, visto que existem poucos vestígios da existência das rochas da Formação Serra de Santa Helena, que normalmente, já se encontram bastante intemperizadas.

8.1.4 Aquífero Fraturado

Os aquíferos fissurados, segundo Costa (2008), estão associados à existência de fraturas em rochas que apresentam porosidade praticamente nula. Essas fraturas são formadas por variações nas condições de tensão verificadas durante vários episódios na história geológica dessas rochas.

Na área em questão, esses aquíferos estão associados às rochas do complexo gnáissico-migmático, constituído por granitóides de composição diversificada localizados no extremo sul do domínio de estudo.

O fluxo e o armazenamento da água são restritos às zonas de discontinuidades das rochas, havendo, de acordo com Pessoa (1996), duas formas de fluxo: uma mais rasa, interconectada hidraulicamente ao manto de intemperismo; e outra profunda, em regime de confinamento exercido pelo isolamento de fraturas em maiores profundidades.

Segundo Mourão *et. al.* (2001), o encaixamento de trechos de cursos d'água em sistemas de fraturas e a drenança a partir do manto de cobertura colúvio-eluvionar, que pode em determinados locais ser bastante espesso, promovem a recarga do aquífero.

As principais formas de descarga do aquífero são: a infiltração da água para as zonas mais profundas; a transferência de água para os cursos d'água; e, as fontes pontuais e difusas que brotam de fissuras, ou em zonas de contato entre o saprolito e a rocha fresca.

8.2 Modelo Hidrogeológico Computacional

De maneira geral, os modelos computacionais podem representar o que acontece na natureza com base em um modelo conceitual, idealizado a partir de levantamentos e interpretações de dados e observações do sistema real, tendo como objetivo uma melhor compreensão do sistema avaliado.

O modelo hidrogeológico computacional representa o comportamento do sistema físico real da água subterrânea pela resolução das equações matemáticas que regem os processos atuantes. A equação que governa o fluxo de água subterrânea é derivada a partir da equação do balanço de massa e da lei de Darcy (ANDERSON e WOESSNER, 1992).

Elaborado pela Waterloo Hydrogeologic, o software *Visual MODFLOW* (GUIGUER e THOMAS, 1998) é um modelo computacional que simula o escoamento da água subterrânea em uma configuração geométrica tridimensional, através de um modelo numérico de diferenças finitas. Dessa maneira a simulação hidrogeológica numérica em três dimensões é realizada resolvendo a seguinte equação diferencial (Anderson e Woessner, 1992):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right] = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \quad (10)$$

Na qual:

- K_x , K_y e K_z representam as componentes da condutividade hidráulica nas direções x, y e z, respectivamente, [$L T^{-1}$];
- h refere-se à carga hidráulica, [L];
- S_s refere-se ao armazenamento específico do meio poroso, [L^{-1}];
- R^* refere-se ao termo geral de fonte ou sumidouro de água [T^{-1}]; reproduzindo a injeção ($R^* > 0$) ou remoção ($R^* < 0$) de um volume de água, por unidade de volume do meio, por unidade de tempo; e,
- t refere-se ao tempo, [T].

O *Visual MODFLOW* permite acomodar as variáveis hidrológicas e condições de contorno do sistema, tais como rios, córregos, lagos, poços e taxa de recarga, possibilitando representar, de maneira adequada, os elementos reais incorporados no modelo hidrogeológico conceitual.

Esta ferramenta admite, também, a existência de unidades hidroestratigráficas distintas, de acordo com as condições reais de campo.

8.2.1 Configurações do modelo hidrogeológico computacional

No desenvolvimento do modelo foram incorporados os elementos integrantes do modelo hidrogeológico conceitual, incluindo suas respectivas unidades hidroestratigráficas, os aspectos geológicos, as condições de recarga, o sistema de drenagem superficial, a conformação topográfica do terreno, os poços de bombeamento e os poços de monitoramento do nível d'água.

Após a montagem do modelo foi realizado os procedimentos de calibração na busca de ajustar os resultados simulados com os dados de cota d'água e de vazão nos córregos medidos através da rede de monitoramento existente no CNPMS.

O desenvolvimento do modelo, os procedimentos de calibração e os resultados obtidos estão apresentados a seguir.

ÁREA E MALHA DO MODELO

O modelo computacional abrangeu uma área de 76 Km² compreendendo toda a área do CNPMS e seu entorno. O limite de modelagem foi definido a partir das condições hidráulicas que terão influência sobre o fluxo da água subterrânea no CNPMS.

Os contornos hidráulicos, de acordo com Anderson e Woessner (1992), podem ser físicos ou hidráulicos. Os contornos físicos são caracterizados pela presença física de rochas impermeáveis ou grandes corpos de água superficial, e os contornos hidráulicos são resultantes das condições hidrológicas locais que incluem divisores de água e linhas de drenagem.

A FIG. 8.1 apresenta um mapa com os limites horizontais do modelo definidos a partir da delimitação das sub-bacias dos córregos Jequitibá e Matadouro, e uma seção AB ilustrativa da geologia local. Essa seção foi elaborada tomando como referência os trabalhos de Ribeiro *et al.* (2003).

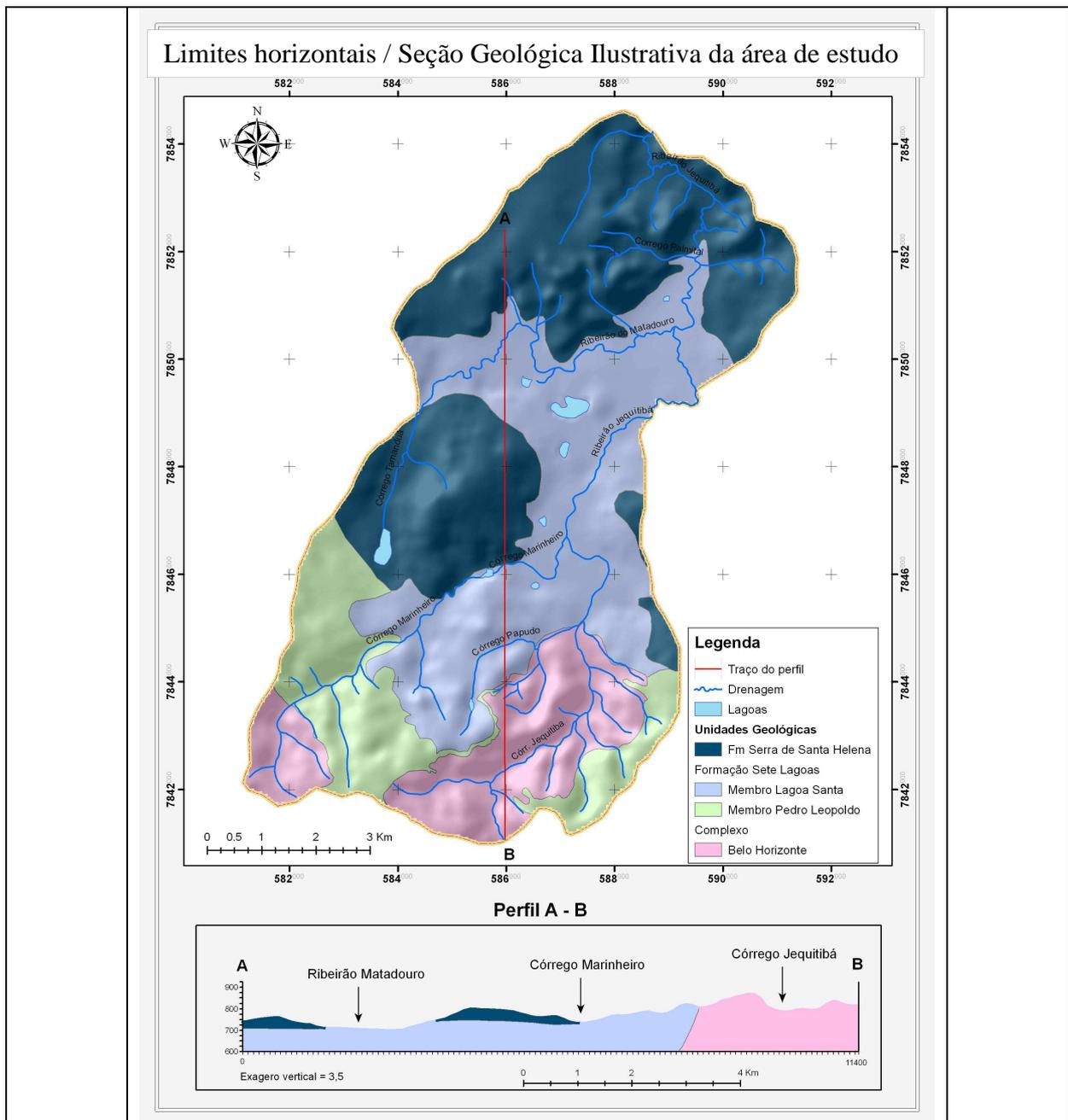


FIGURA 8.1: Limites horizontais do modelo computacional e seção geológica representativa da área de estudo.

O sistema de coordenadas utilizado foi o UTM (*Universal Transverse de Mercator*), sendo as coordenadas limítrofes do modelo:

- direção leste-oeste: 580900 a 591600; e,
- direção norte-sul: 7840760 a 7854710.

Os limites verticais do domínio de cálculo foram definidos utilizando como limite de topo a superfície topográfica e o limite de base o embasamento cristalino, considerado uma barreira hidráulica impermeável.

O domínio de modelagem foi estruturado em uma malha de cálculo formada por 280 linhas e 215 colunas, resultando em uma grade horizontal de células de dimensões 50 x 50 metros. Na direção vertical o modelo apresenta 18 camadas (*layers*) com espessuras variando de 5 a 30 metros, sendo que, a última camada (*layer 18*) possui tamanho invariável.

As FIG's. 8.2 e 8.3 apresentam um detalhe da malha de cálculo do modelo hidrogeológico computacional nas direções horizontal e vertical, respectivamente.

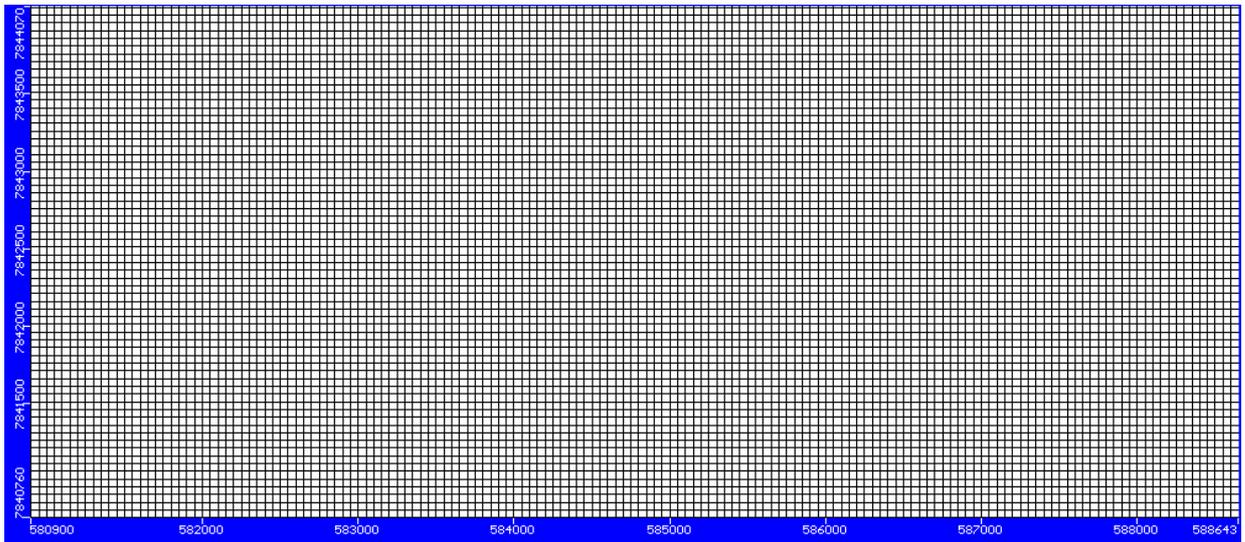


FIGURA 8.2: Detalhe da malha de cálculo do modelo hidrogeológico computacional na direção horizontal.

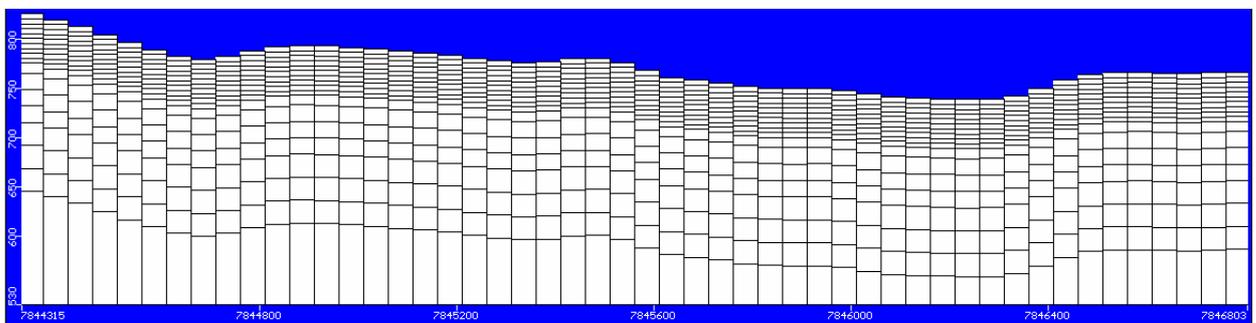


FIGURA 8.3: Detalhe do domínio vertical e malha de cálculo do modelo hidrogeológico computacional (coluna 104 do modelo computacional).

CONSIDERAÇÃO TEMPORAL

O modelo hidrogeológico computacional foi desenvolvido em regime permanente (estacionário), o qual consiste numa simulação do fluxo d'água onde se considera uma situação de equilíbrio para o aquífero, nesta condição não existe variações nas cargas hidráulicas em relação ao tempo.

Tendo em vista essa consideração os dados climatológicos e hidrológicos aqui utilizados representam os valores médios anuais, ou seja, assume-se que as variações ao longo de um período hidrológico são razoavelmente pequenas.

DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONTORNO

Conforme citado anteriormente, na definição do domínio de modelagem foram observadas algumas condições de contorno que permitiram definir uma área que não sofre a influência do seu entorno visto que os limites foram colocados nos divisores de águas definindo uma bacia hidrográfica. As células da malha de cálculo localizadas fora dessa região foram consideradas como inativas.

Definidas as condições de contorno presentes nos limites do domínio de cálculo partiu-se para a definição de condições de contorno internas do mesmo.

A primeira condição de contorno a ser considerada foi a carga hidráulica ao longo das drenagens e corpos d'água (lagoas) existentes na área estudo. Devido ao fato de ser uma bacia de pequena área considera-se as condições climáticas como invariáveis, o que permite admitir que todos os córregos sejam hidrologicamente de caráter efluente, ou seja, eles funcionam apenas como um elemento que retira água do sistema subterrâneo, para tal foram simulados utilizando a ferramenta dreno (*drain*) do *Visual MODFLOW*. As lagoas localizadas em toda a área de modelagem foram simuladas como carga constante (*Constant head*).

A recarga do sistema foi considerada como proveniente, exclusivamente, da infiltração da precipitação pluvial sendo seu valor inicialmente adotado de 250 mm/ano, baseado nos cálculos do balanço hídrico, valor esse adaptado durante o processo de calibração, a ser descrito posteriormente, obtendo uma recarga de 300 mm/ano equivalente a 22 % da precipitação anual.

A FIG. 8.4 apresenta uma síntese das condições de contorno alocadas no modelo hidrogeológico computacional.

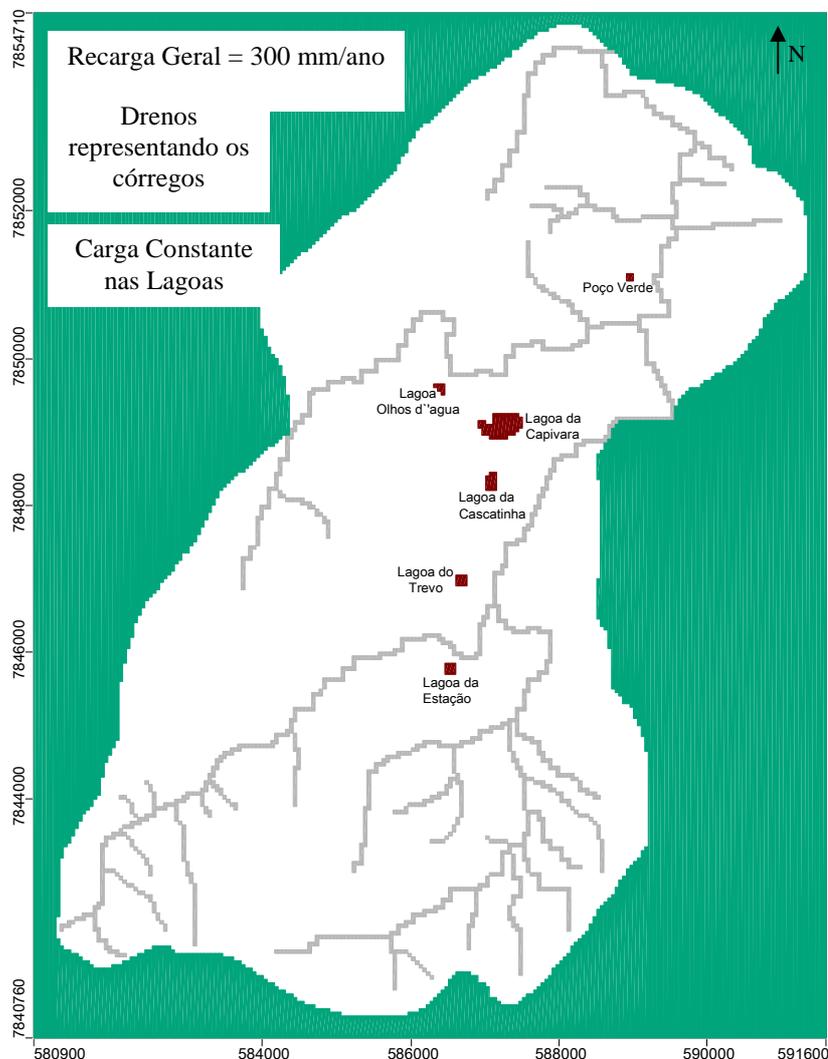


FIGURA 8.4: Síntese das condições de contorno do modelo hidrogeológico computacional.

PARAMETROS HIDRÁULICOS

Como o modelo hidrogeológico computacional foi desenvolvido considerando um regime estacionário de fluxo, as cargas hidráulicas não variam em relação ao tempo e, conseqüentemente, não há alteração no armazenamento de água no meio. Nesta condição, os únicos parâmetros que afetam a distribuição da carga hidráulica são a condutividade hidráulica e a recarga.

A recarga, conforme já discutido anteriormente, foi definida a partir do balanço hídrico e considerada homogênea em toda a área modelada, enquanto a condutividade hidráulica foi estimada a partir de dados da literatura, utilizando principalmente os trabalhos de Pessoa (1996), Silva (2003) e Batista (2009), e através das medidas de condutividade hidráulica realizadas em campo.

As unidades hidroestratigráficas foram definidas a partir do mapa geológico existente para a área de estudo; a partir dos perfis litológicos dos poços tubulares existentes na área de estudo, os quais estão disponíveis no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS – CPRM), ver TAB. 8.1 no Anexo I; através dos perfis litológicos dos poços de monitoramento perfurados na área do CNPMS, Anexo V; e, através dos furos de sondagem realizados com o trado mecânico na área de estudo (Anexo II).

A partir dessas informações foram consideradas dez unidades hidroestratigráficas, sendo uma delas representativa dos solos da região, três referentes aos saprolitos originários da Formação Serra de Santa Helena, três unidades correspondentes aos calcários da Formação Sete Lagoas e três unidades representativas das rochas do embasamento cristalino.

A primeira camada de 5 metros corresponde aos solos representativos da área de estudo (latossolo vermelho e latossolo vermelho-amarelo). Durante os trabalhos de campo, foi possível perceber que a Formação Serra de Santa Helena se distribui em toda a área de estudo, com diferentes níveis de alterações (intemperismo). Estas alterações foram acomodadas no modelo, de forma que os materiais mais próximos da superfície e mais alterados possuem uma condutividade hidráulica maior que os materiais sotopostos.

A Formação Sete Lagoas foi dividida em quatro unidades: uma porção correspondente a uma região carstificada com elevada condutividade hidráulica e três porções relativas ao calcário fraturado, considerando que o grau de fraturamento diminui com a profundidade. Na região mais elevada da área de estudo, o calcário fraturado foi alocado a uma profundidade de 40 metros (essa profundidade do calcário foi atingida no PC-01), já nas cotas mais baixas, o calcário apresenta-se mais próximo da superfície e foi acomodado no modelo a uma profundidade de 30 metros.

O embasamento cristalino foi diferenciado por uma porção superior referente ao saprolito e presença de fraturas e por uma porção inferior relativa à rocha menos fraturada, mais impermeável. O limite inferior do modelo é caracterizado pelas rochas íntegras, consideradas impermeáveis.

Os valores de condutividade hidráulica usados como referência no início da calibração estão apresentados na TAB. 8.1.

TABELA 8.1: Unidades hidroestratigráficas e valores das condutividades hidráulicas (K) utilizadas como referência neste trabalho.

Unidades Hidroestratigráficas	K - Condutividade Hidráulica (cm/s)			
	Pessoa (1996)	Silva (2003)	Batista (2009)	Valor de referência
Solos em geral	$10^{-2} - 10^{-1}$	-	1.1×10^{-2}	10^{-2}
Solos/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena	$< 10^{-4}$	-	8.0×10^{-3}	10^{-3}
Formação Sete Lagoas - carste	-	2.0×10^{-1}	1.8×10^{-2}	10^{-2}
Formação Sete Lagoas - fraturado	$1.4 \times 10^{-2} - 1.9 \times 10^{-3}$	5.0×10^{-3}	9.00×10^{-4}	10^{-3}
Formação Sete Lagoas - rocha sã	-	2.5×10^{-4}	2.00×10^{-4}	10^{-5}
Cristalino fraturado	$3.5 \times 10^{-5} - 8.0 \times 10^{-4}$	-	3.00×10^{-4}	10^{-4}
Cristalino são	-	10^{-7}	2.0×10^{-7}	10^{-7}

As figuras FIG's. 8.5 e 8.6 ilustram a distribuição das unidades hidroestratigráficas no modelo hidrogeológico computacional, e a TAB. 8.2 apresenta as distribuições das cores representativas de cada unidade.

TABELA 8.2: Distribuição das cores no modelo para cada unidade hidroestratigráfica.

Unidades Hidroestratigráficas	Cor
Solos em geral	
Solos/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (intemperizado)	Red
Solos/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (medianamente estruturado)	Purple
Solos/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (mais estruturado)	Red
Formação Sete Lagoas (medianamente fraturado)	Blue
Formação Sete Lagoas (pouco fraturado)	Dark Blue
Formação Sete Lagoas (carstificada)	Cyan
Cristalino (intemperizado)	Grey
Cristalino (fraturado)	Light Grey
Cristalino (pouco fraturado)	Green

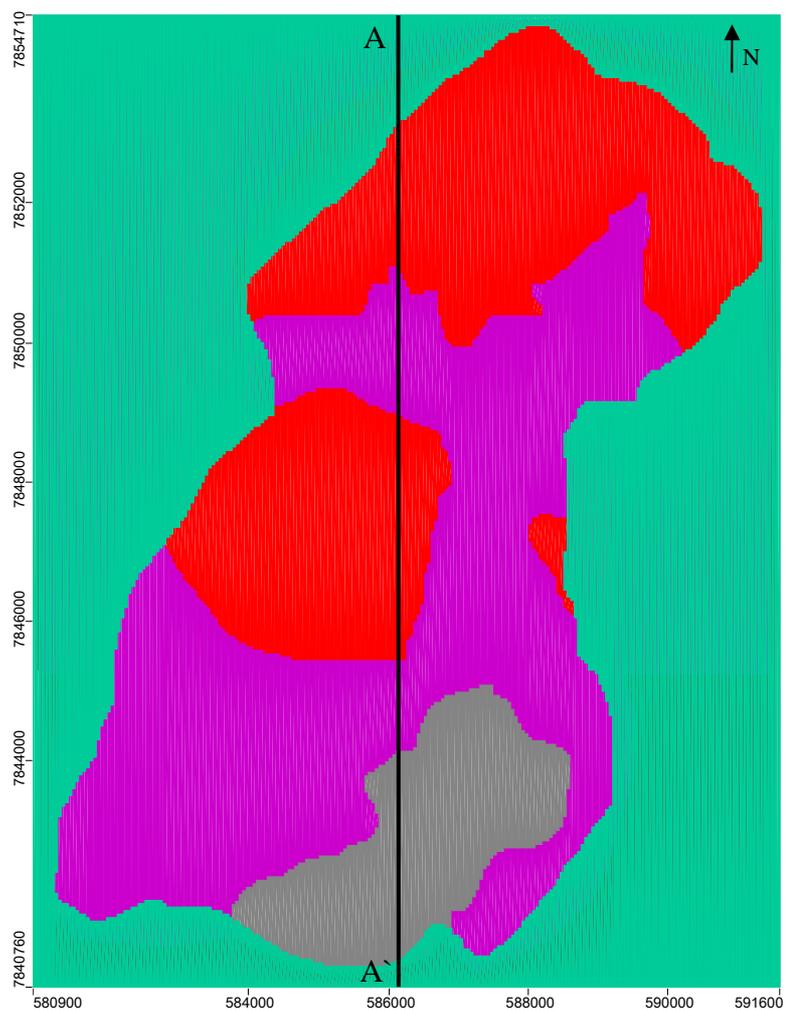


FIGURA 8.5: Representação em planta dos domínios das unidades hidroestratigráficas existentes na área modelada.

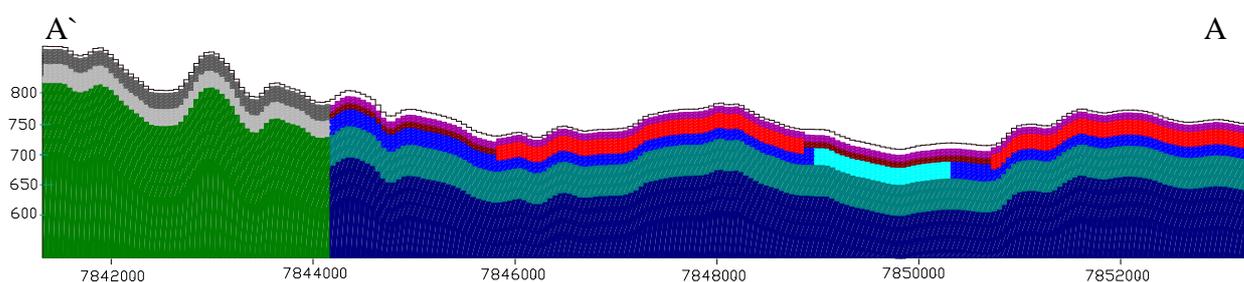


FIGURA 8.6: Representação em corte vertical (seção AA' da FIG. 8.5), das unidades hidroestratigráficas existentes na área modelada. Dimensão vertical ampliada em cinco vezes.

POÇOS TUBULARES DE BOMBEAMENTO

Como já foi exposto anteriormente, a principal fonte de água para o abastecimento no CNPMS é através da exploração de água por meio de poços tubulares. Portanto, para compor o cenário do modelo, foram acomodados os quatro poços tubulares existentes na área de estudo. A TAB. 8.3 apresenta as características destes poços e a FIG. 8.7 suas localizações no modelo.

TABELA 8.3: Identificação dos poços de bombeamento com suas respectivas vazões médias

Poço	Coordenadas (UTM)		Altitude (m)	Vazão (m ³ /d)
P1	586515	7845680	730	160
P2	587050	7849680	708	311
P3	587105	7849675	709	311
P4	586365	7849800	711	120

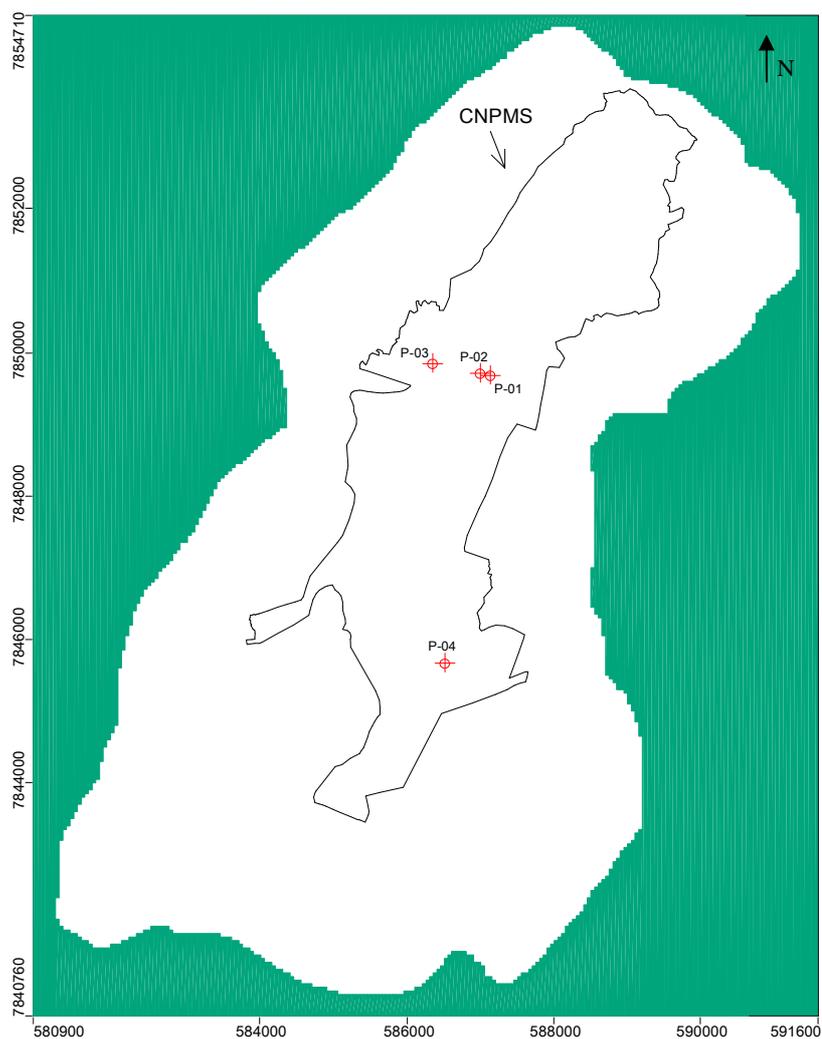


FIGURA 8.7: Localização dos poços de bombeamento, acomodados no modelo hidrogeológico computacional.

8.2.2 Calibração do modelo hidrogeológico computacional

A calibração de um modelo hidrogeológico computacional tem como objetivo adquirir uma maior confiabilidade no modelo já desenvolvido, de tal forma que os valores de carga hidráulica e de vazões de água, calculados pelo modelo, possam ser comparados satisfatoriamente com os valores observados em campo, através do programa de monitoramento hidrológico e hidrogeológico.

Dessa maneira, o procedimento de calibração consiste na variação sistemática de alguns parâmetros do modelo hidrogeológico computacional, dentro de intervalos de valores previamente estabelecidos. Busca-se, portanto, ajustar os valores calculados de carga

hidráulica e de vazões de água, com os respectivos valores medidos através do programa de monitoramento, tendo sempre como meta alcançar a menor discrepância entre eles.

Um dos procedimentos utilizados nesta etapa é a variação, em módulo, de alguns parâmetros, incluindo as taxas de recarga e a condutividade hidráulica das unidades hidroestratigráficas.

Para a recarga, o melhor valor encontrado considerando as vazões nos córregos e as cargas hidráulicas nos pontos de monitoramento, foi de 300 mm/ano, correspondendo a 22 % da precipitação anual (1.382 mm/ano).

Os valores das condutividades hidráulicas das unidades hidroestratigráficas foram variados, mantendo-se sempre uma coerência com os valores mencionados pela literatura. Os valores obtidos após a calibração, para cada unidade hidroestratigráfica, estão apresentados na TAB. 8.4.

TABELA 8.4: Valores de condutividade hidráulica (K) adotados para cada uma das unidades hidroestratigráficas após a calibração do modelo computacional.

Unidades Hidroestratigráficas	Cor	K - Condutividade Hidráulica (cm/s)		
		Kx	Ky	Kz
Solos em geral		8.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}	8.0×10^{-3}
Solos/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (intemperizado)		3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-4}
Solos/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (medianamente estruturado)		4.0×10^{-3}	4.0×10^{-3}	4.0×10^{-4}
Solos/Saprolitos da Formação Serra de Santa Helena (mais estruturado)		1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}
Formação Sete Lagoas (medianamente fraturado)		1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}
Formação Sete Lagoas (pouco fraturado)		1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}
Formação Sete Lagoas (carstificada)		0.1	0.1	0.1
Cristalino (intemperizado)		5.0×10^{-4}	5.0×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Cristalino (fraturado)		1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}	1.0×10^{-4}
Cristalino (menos fraturado)		1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-5}

Em relação às cargas hidráulicas, neste trabalho, foram utilizados 30 pontos de monitoramento, sendo, 23 poços de monitoramento, 2 nascentes, 3 poços tubulares e 2 cisternas. Os valores da cota do nível d'água subterrânea utilizados na calibração são referentes às medidas realizadas em campo, em outubro de 2010. A distribuição de todos os pontos de calibração utilizados no modelo está apresentada na FIG. 8.8.

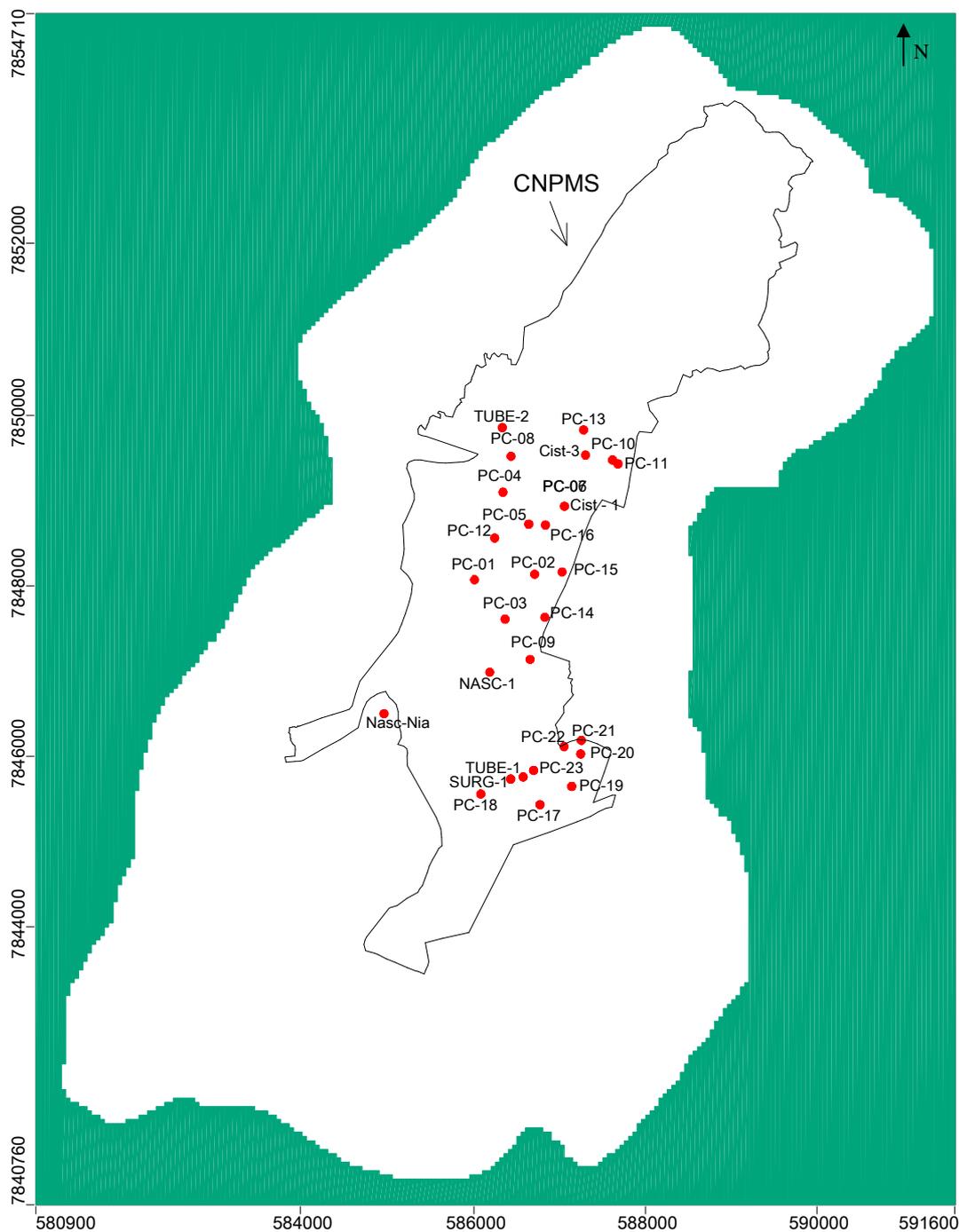


FIGURA 8.8: Distribuição dos pontos utilizados na calibração do modelo hidrogeológico computacional.

A TAB. 8.5 apresenta as cotas do nível d'água monitorado e calculado pelo modelo e a FIG 8.9 apresenta a curva de calibração para esta simulação.

TABELA 8.5: Comparação entre os níveis d'água monitorados e os calculados pelo modelo.

Poço	Coordenadas (UTM)		Cota do NA Observado (m)	Cota do NA Calculado (m)	Calc - Obs (m)
	E	N			
PC-1	586015	7848047	773,24	764,14	-9,10
PC-2	586698	7848061	733,00	731,14	-1,86
PC-3	586388	7847585	757,15	747,67	-9,48
PC-4	586322	7849076	710,79	712,10	1,31
PC-5	586630	7848708	717,86	717,73	-0,13
PC-6	587069	7848939	712,07	711,69	-0,38
PC-7	587069	7848939	709,50	711,69	2,19
PC-8	586456	7849513	709,68	709,74	0,06
PC-9	586706	7847137	723,86	724,71	0,85
PC-10	587633	7849438	705,88	706,65	0,77
PC-11	587661	7849434	705,83	706,49	0,66
PC-12	586247	7848537	745,96	741,43	-4,53
PC-13	587299	7849802	704,03	702,79	-1,24
PC-14	586817	7847584	718,23	720,01	1,78
PC-15	586871	7848201	721,62	720,29	-1,33
PC-16	587061	7848231	719,00	718,97	-0,03
PC-17	586772	7845381	730,56	733,49	2,93
PC-18	586103	7845526	739,55	741,96	2,41
PC-19	587166	7845652	725,56	726,90	1,34
PC-20	587255	7846036	720,49	722,90	2,41
PC-21	587260	7846185	720,26	721,15	0,89
PC-22	587043	7846106	721,64	721,50	-0,14
PC-23	586686	7845779	724,32	725,06	0,74
P1	586535	7845747	726,38	724,71	-1,67
P2	586340	7849777	709,55	710,25	0,70
P4	587300	7849798	700,51	702,78	2,27
Cist-1	586881	7848687	708,69	713,43	4,74
Cist-3	587314	7849488	706,00	707,26	1,26
Nasc-1	586146	7846970	746,06	738,06	-8,00
Nasc-Nia	586420	7845751	763,00	759,80	-3,20

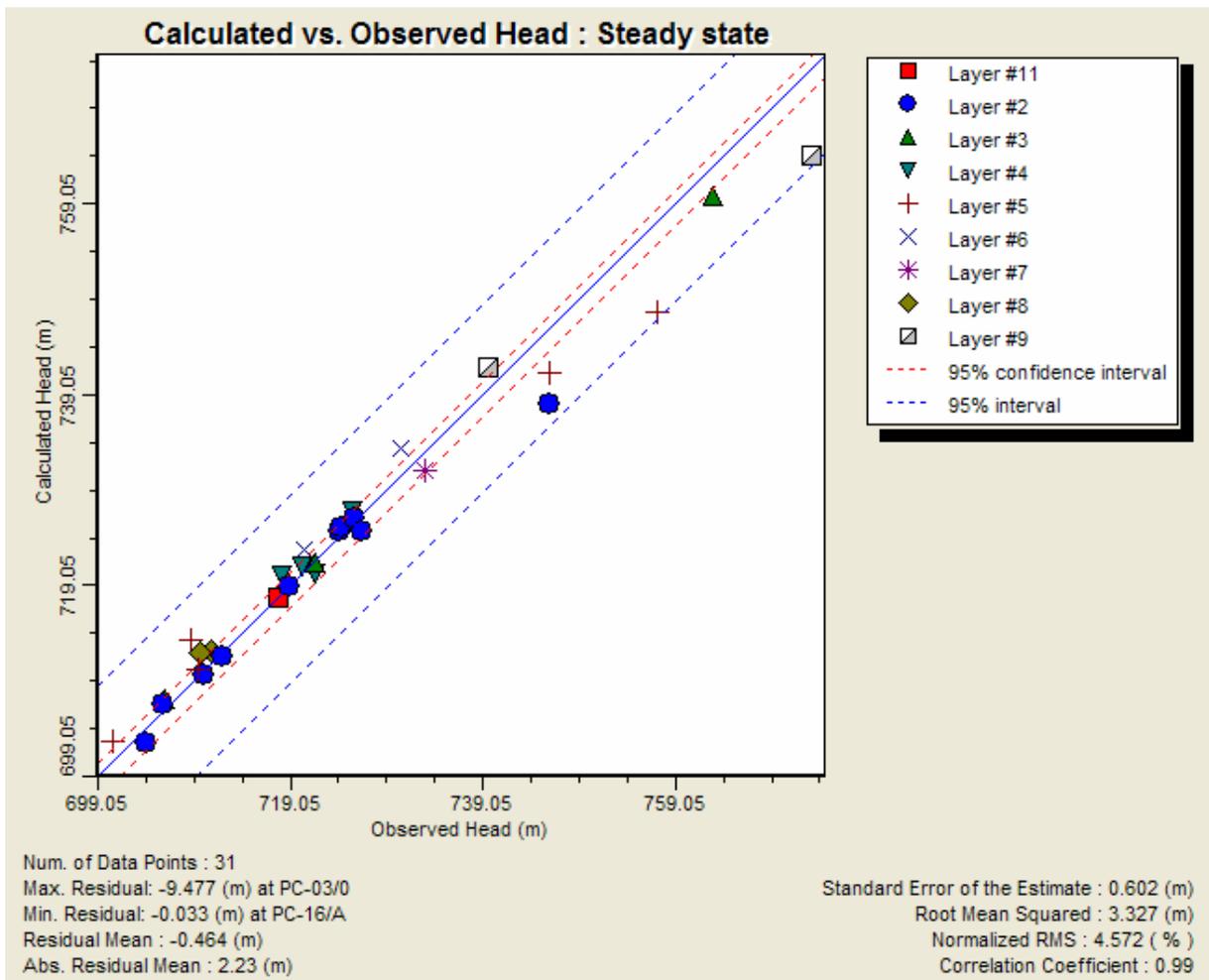


FIGURA 8.9: Gráfico de calibração entre os níveis d'água observados e calculados para a área modelada.

Com relação às cargas hidráulicas, o modelo hidrogeológico computacional foi considerado calibrado, apresentando um erro médio de 4.57 %. Este erro, considerado satisfatório, sobretudo por se tratar de um modelo regional, corresponde a melhor situação de calibração encontrada, expressando os melhores valores de carga hidráulica nos pontos monitorados.

Para a calibração das vazões nos cursos d'água foram utilizados os dados dos pontos monitorados dentro do CNPMS pela COPASA. A relação dos pontos monitorados, as vazões utilizadas para a calibração do modelo hidrogeológico computacional e as vazões obtidas através do modelo, estão apresentadas na TAB. 8.6.

TABELA 8.6: Relação dos pontos de monitoramento de vazão nos córregos no CNPMS, vazão monitorada e vazão calculada pelo modelo numérico.

Descrição	Coordenadas (UTM)		Vazão monitorada (m ³ /h)	Vazão calculada (m ³ /h)
	E	N		
Córrego Marinheiro	585062	7845705	242	400
Córrego Jequitibá 1	588468	7849010	2224	973
Córrego Jequitibá 3	587620	7845500	351	366
Açude da Estação	586675	7845870	120	100

É importante ressaltar que os córregos existentes na área de estudo sofrem influências antrópicas, por exemplo, o córrego Matadouro recebe as águas residuárias do município de Sete Lagoas, e o córrego Marinheiro é desviado dentro do CNPMS para um canal de irrigação.

Essas influências alteram o regime hidrológico natural desses córregos, sendo assim, para uma avaliação mais detalhada da quantificação do escoamento superficial e subterrâneo, é necessário a implantação de uma rede de monitoramento hidrológica detalhada, em número de pontos e em periodicidade de leituras, contemplando todos os elementos de drenagem superficial da área, incluindo os ambientes hídricos fortemente impactados, como o córrego Matadouro e Jequitibá.

8.2.3 Resultados obtidos

A FIG. 8.10 apresenta as equipotenciais do nível d'água e as direções do fluxo d'água subterrânea no entorno do CNPMS, obtidas através do modelo hidrogeológico computacional.

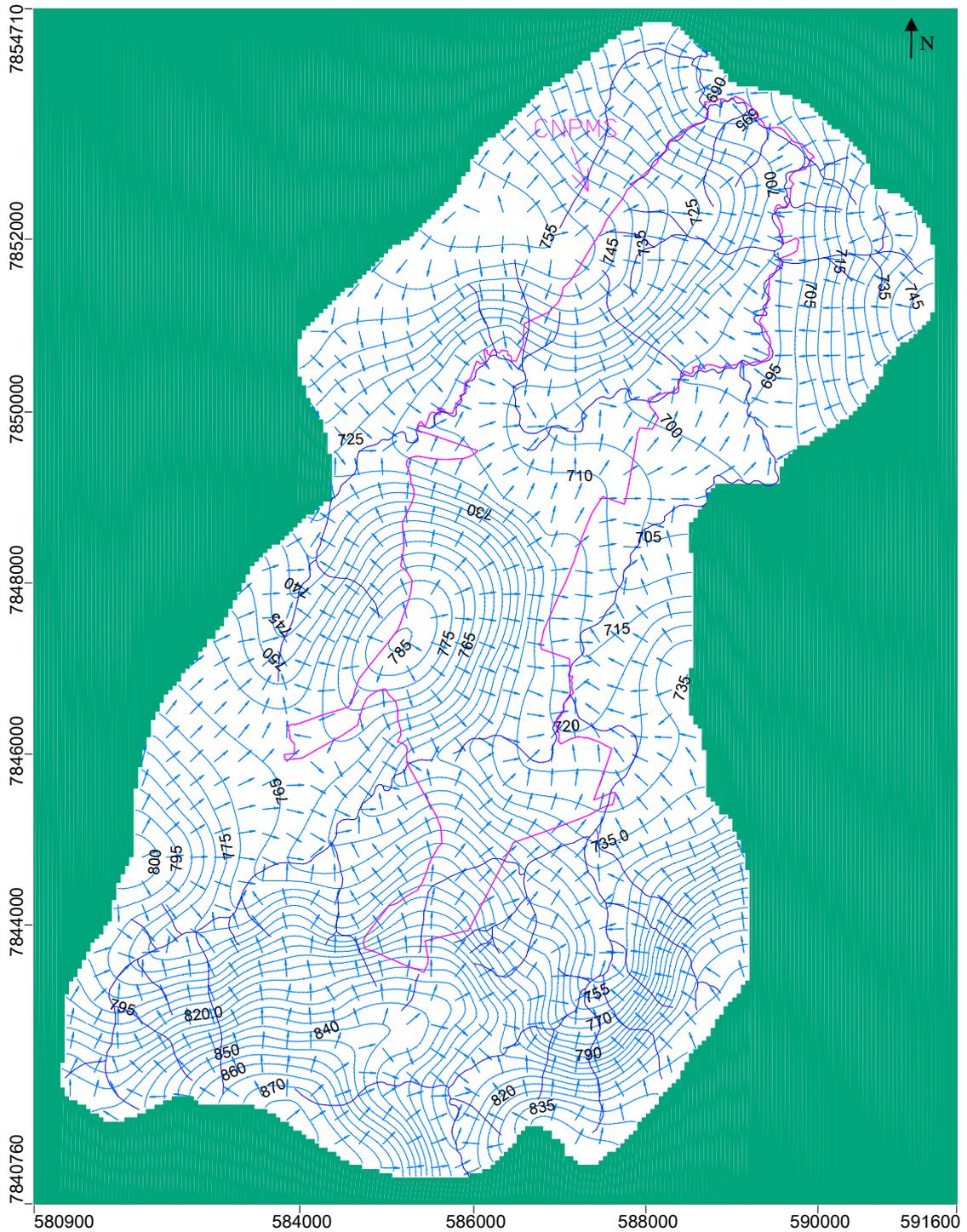


FIGURA 8.10: Equipotenciais do nível d'água e direções do fluxo d'água subterrânea no entorno do CNPMS, obtidas através do modelo hidrogeológico computacional.

Como observado na FIG. 8.10, o modelo hidrogeológico computacional apresenta-se coerente com o respectivo modelo conceitual, mostrando que o fluxo de água subterrânea ocorre dos altos topográficos em direção às respectivas drenagens, tais como córregos Jequitibá e Matadouro, e de sul para norte, em direção ao nível de base local, que é o rio das Velhas.

O modelo indica que as lagoas Olhos d'Água e Subida da Estação são áreas de descarga da água subterrânea, e na região da lagoa da Capivara o fluxo d'água subterrânea tende a ser epidérmico, com uma contribuição limitada na parte superior do escoamento freático e em profundidade, o fluxo de água sob a lagoa se direciona para os elementos de base, representados pela lagoa Olhos d'Água e córrego Matadouro.

Conforme indicado nos estudos adicionais do projeto, o qual esta pesquisa está inserida, a qualidade da água nesses sistemas (lagoas Olhos d'Água e Subida da Estação) indicam águas mais profundas, influenciadas pelo ambiente carbonático. Além disso, as linhas de fluxo mais profundas que alimentam esses dois sistemas tem origem nas áreas de recarga local, as quais hospedam as áreas agrícolas do CNPMS e, conseqüentemente, as potenciais influências dessas atividades nessas áreas, serão refletidas nesses pontos de descarga. A FIG. 8.11, apresentada no Anexo IV, ilustra a localização das águas de cultivo agrícola, as linhas de fluxo, pontos de monitoramento, geologia, drenagens e as lagoas no CNPMS.

Por outro lado, contrário à expectativa do modelo conceitual original, a lagoa da Capivara não constitui um elemento de descarga das linhas de escoamento mais profunda, corroborada pelas informações piezométricas dos poços PC – 06 e PC – 7. A lagoa da Capivara é um sistema de trânsito das águas cujo destino final é representado pela lagoa Olhos d'água e pelo córrego Matadouro.

Em resumo, de acordo com as previsões do modelo e dados de monitoramento dos poços pode-se entender que as influências das atividades agrícolas no CNPMS, com relação à qualidade da água, são potencialmente maiores nas lagoas Olhos d'Água e Subida da Estação do que na lagoa Capivara.

Os processos de interação água superficial e água subterrânea, que ocorrem na lagoa Subida da Estação e no complexo lagoa Capivara e lagoa Olhos d'Água, constituem importantes elementos hidrogeológicos locais, podendo ser interpretados como indicadores das relações de

causa e efeito pertinentes às atividades agrícolas e à qualidade resultante nas águas subterrâneas e superficiais.

No entanto, para uma avaliação mais detalhada do comportamento da água subterrânea nessas lagoas e nos demais pontos específicos de interesse hidrogeológico, torna-se necessário explorar com mais detalhes a capacidade preditiva do modelo hidrogeológico computacional, em conjunto com o detalhamento do programa de monitoramento da qualidade das águas locais.

9 LEVANTAMENTO DOS PARÂMETROS DRASTIC NA ÁREA DE ESTUDO

A vulnerabilidade de contaminação de aquíferos na sub – bacia do Rio Jequitibá foi avaliada utilizando o método DRASTIC Agrícola, que se fundamenta num conjunto de procedimentos que permitem integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e de suas especificidades (método descrito no capítulo 7).

O desenvolvimento da agricultura não é generalizado em toda a sub - bacia, mas na área pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo – CNPMS da EMBRAPA Milho e Sorgo, ocorrem aplicações de agroquímicos (fertilizantes e agroquímicos), os quais podem causar contaminação da água subterrânea como resultado do processo de lixiviação.

Apresenta – se na FIG. 9.1, de forma generalizada, os planos de informações que foram combinados, em ambiente SIG, para a classificação e elaboração do mapa preliminar de vulnerabilidade a contaminação no entorno do CNPMS.

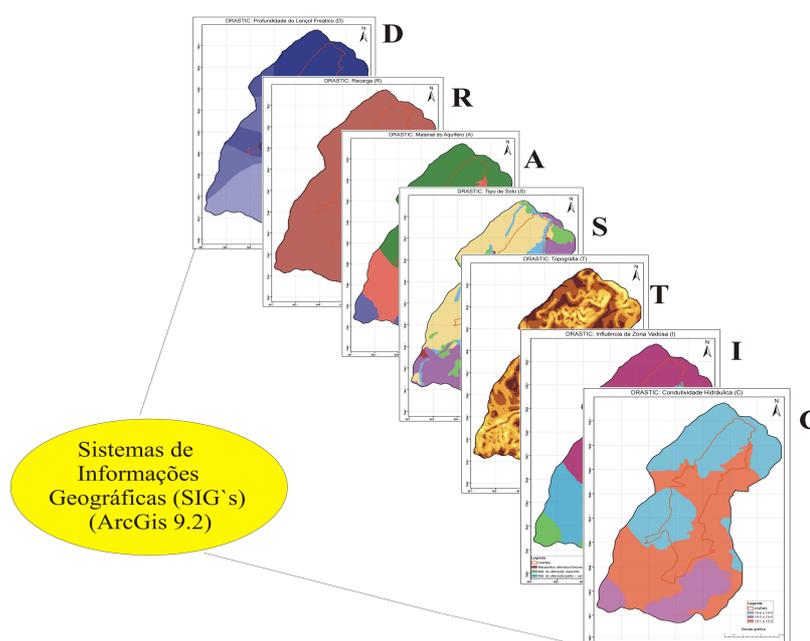


FIGURA 9.1: Planos de informações que foram combinados para a classificação da vulnerabilidade.

Os valores para cada parâmetro do índice DRASTIC foram obtidos a partir de investigações hidrogeológicas locais e dados da literatura. A seguir temos a caracterização e o mapa de cada um desses parâmetros.

9.1 Profundidade do Lençol Freático - D

A profundidade do lençol freático foi determinada a partir das medidas realizadas dos níveis d'água dos poços de monitoramento no CNPMS, durante o mês de outubro de 2010. Os valores de profundidade do lençol freático, na área de estudo, variaram de 1.5 a 30 metros.

Os valores do peso e índice de ponderação, utilizados na elaboração do mapa do parâmetro profundidade do lençol freático, estão relacionados na TAB. 9.1.

TABELA 9.1: Classes de valores de pesos e índices de ponderação correspondentes à profundidade do nível d'água.

Profundidade do Lençol Freático - D		
Profundidade (m)	Peso	Índice de Avaliação
0 – 5	5	10
5 – 10	5	9
10 – 15	5	8
15 - 30	5	7
30 - 50	5	5

Na FIG. 9.2 é mostrada o mapa de profundidade do nível d'água para o aquífero livre da área de estudo. Os polígonos foram agrupados em classes de profundidade e atribuídos valores de avaliação pré-definidos pelo Índice DRASTIC.

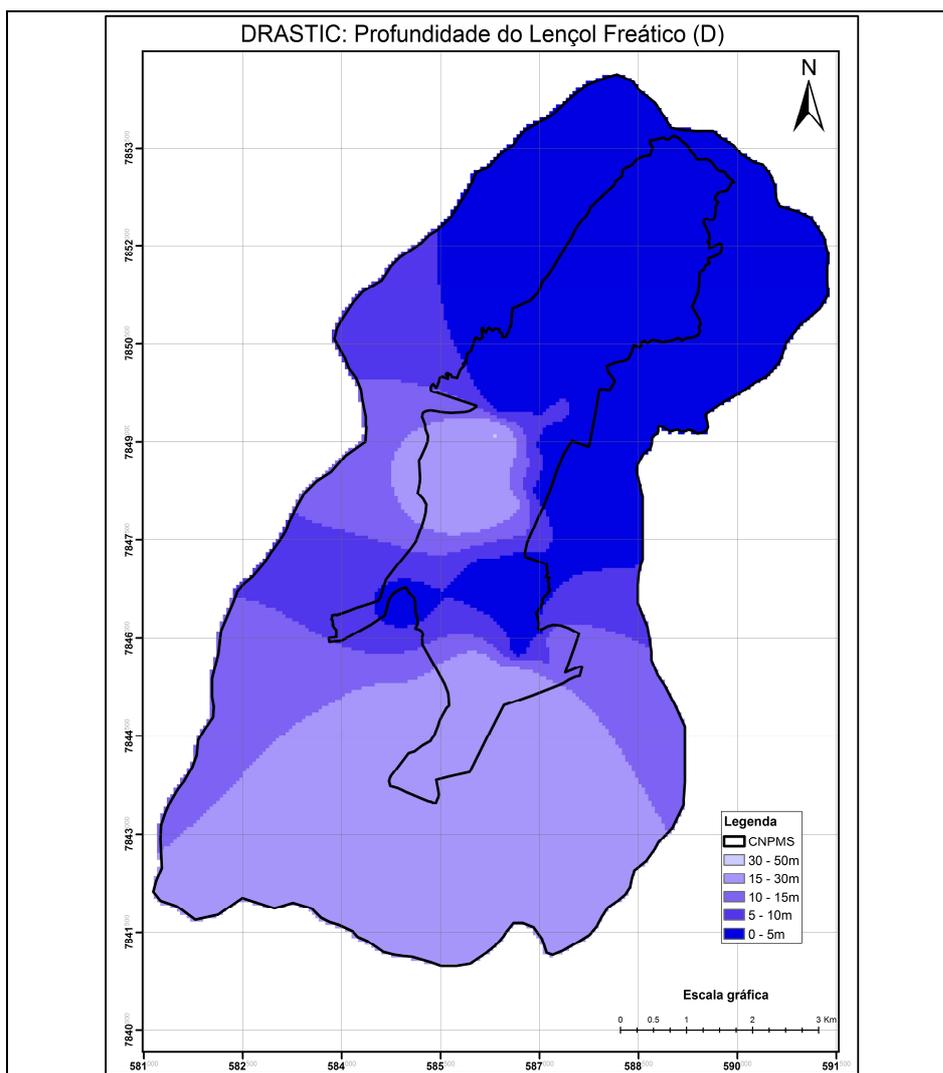


FIGURA 9.2: Mapa de caracterização do parâmetro D: Profundidade do lençol freático no entorno do CNPMS.

9.2 Recarga - R

Para o cálculo da vulnerabilidade do índice DRASTIC, não foi necessária a elaboração do mapa da distribuição da recarga na área de estudo, uma vez que o valor 250 mm/ano (obtido no cálculo do balanço hídrico) foi considerado para toda a área. Desta forma, conforme os intervalos de classes de recarga definidos na metodologia do índice DRASTIC Agrícola (Capítulo 6; seção 6.4.2), o valor da recarga obtido, situa-se dentro do intervalo onde o valor de avaliação corresponde a 8.

9.3 Material do Aquífero - A

Sendo o aquífero superior livre e poroso, considerou-se o material da zona não saturada sendo o mesmo que o material do aquífero. A TAB. 9.2 apresenta a descrição do material do aquífero e seus respectivos pesos e índices de avaliação. Na FIG. 9.3 é mostrada o mapa de distribuição do material do aquífero para a área de estudo.

TABELA 9.2: Descrição do material do aquífero e seus respectivos pesos e índices de avaliação.

Material do Aquífero - A			
Litologia da área de estudo	Material do aquífero	Peso	Índice de Avaliação
Formação Sete Lagoas	Rochas Pelito – carbonáticas		
• Membro Lagoa Santa	(Grupo Bambuí)	3	8
• Membro Pedro Leopoldo			
Formação Serra de Santa Helena	Metapelitos alterados/fraturados	3	4
Complexo Belo Horizonte	Rocha metamórfica/Ígnea alterada/fraturada	3	5

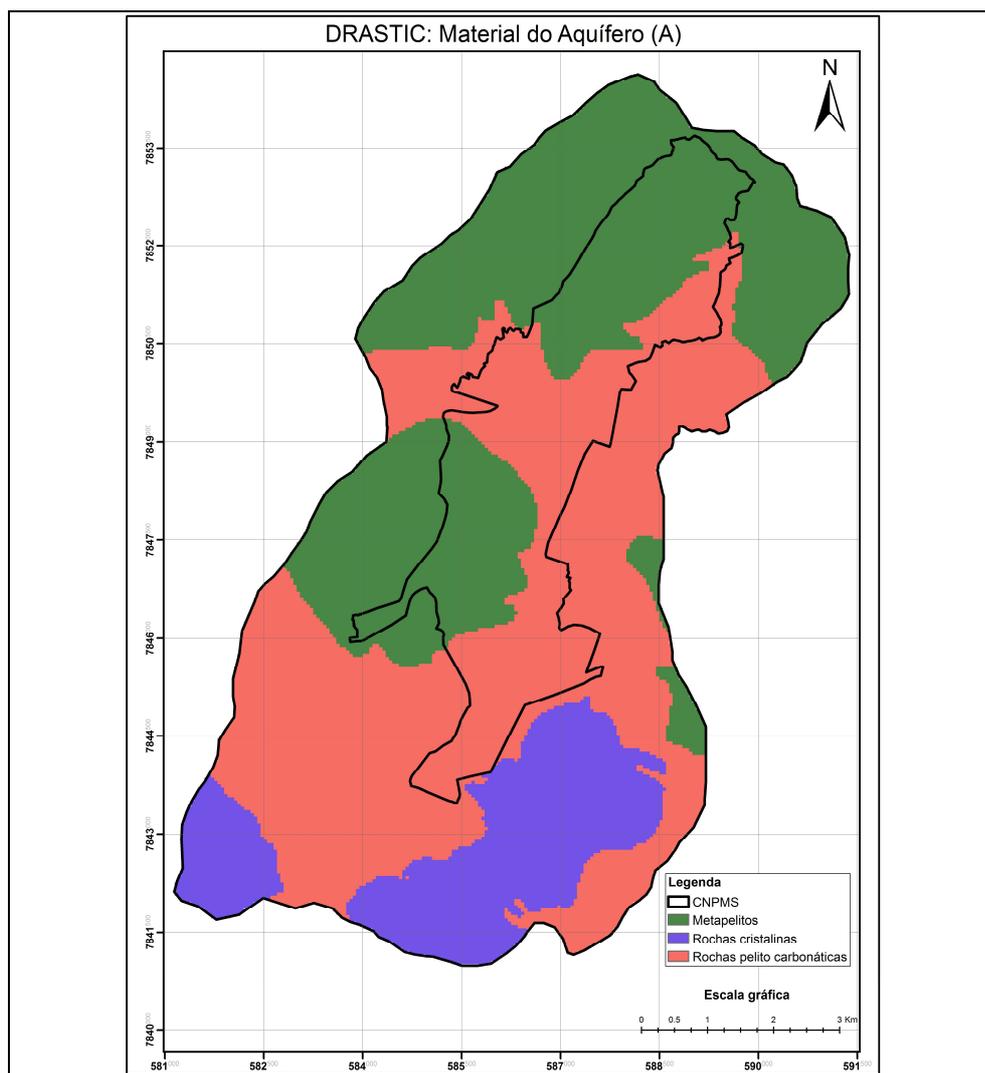


FIGURA 9.3: Mapa de caracterização do parâmetro A: Material do aquífero no entorno do CNPMS.

9.4 Tipo de Solo - S

O mapa de solos bem como suas características foi obtido a partir do trabalho de Panoso *et al* (2003). Os tipos de solos predominantes na área de estudo são os Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos Amarelos. A FIG. 9.4 apresenta o mapa de caracterização do parâmetro solo para a área de estudo.

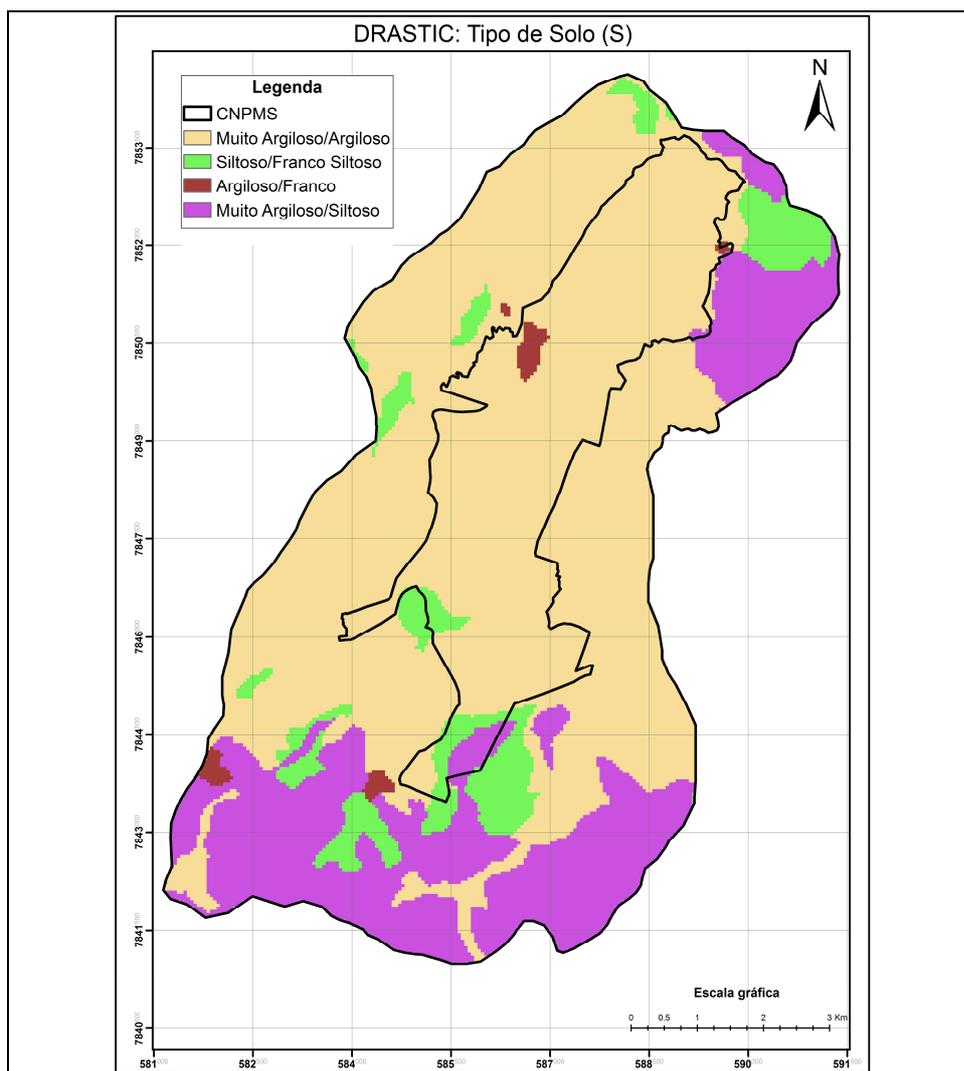


FIGURA 9.4: Mapa de caracterização do parâmetro S: Tipo de solo no entorno do CNPMS.

9.5 Topografia - T

O mapa de declividade da área de estudo, mostrado na FIG. 9.5, resultou no agrupamento de cinco classes de declividade; englobando todos os intervalos definidos pelo índice DRASTIC Agrícola. A cada classe de declividade foi atribuído um valor de avaliação (TAB. 9.3).

TABELA 9.3: Classes de valores de declividade e seus respectivos pesos e índices de avaliação.

Topografia - T		
Declividade (%)	Peso	Índice de Avaliação
0 – 2	3	10
2 – 6	3	9
6 – 12	3	5
12 – 18	3	3
> 18	3	1

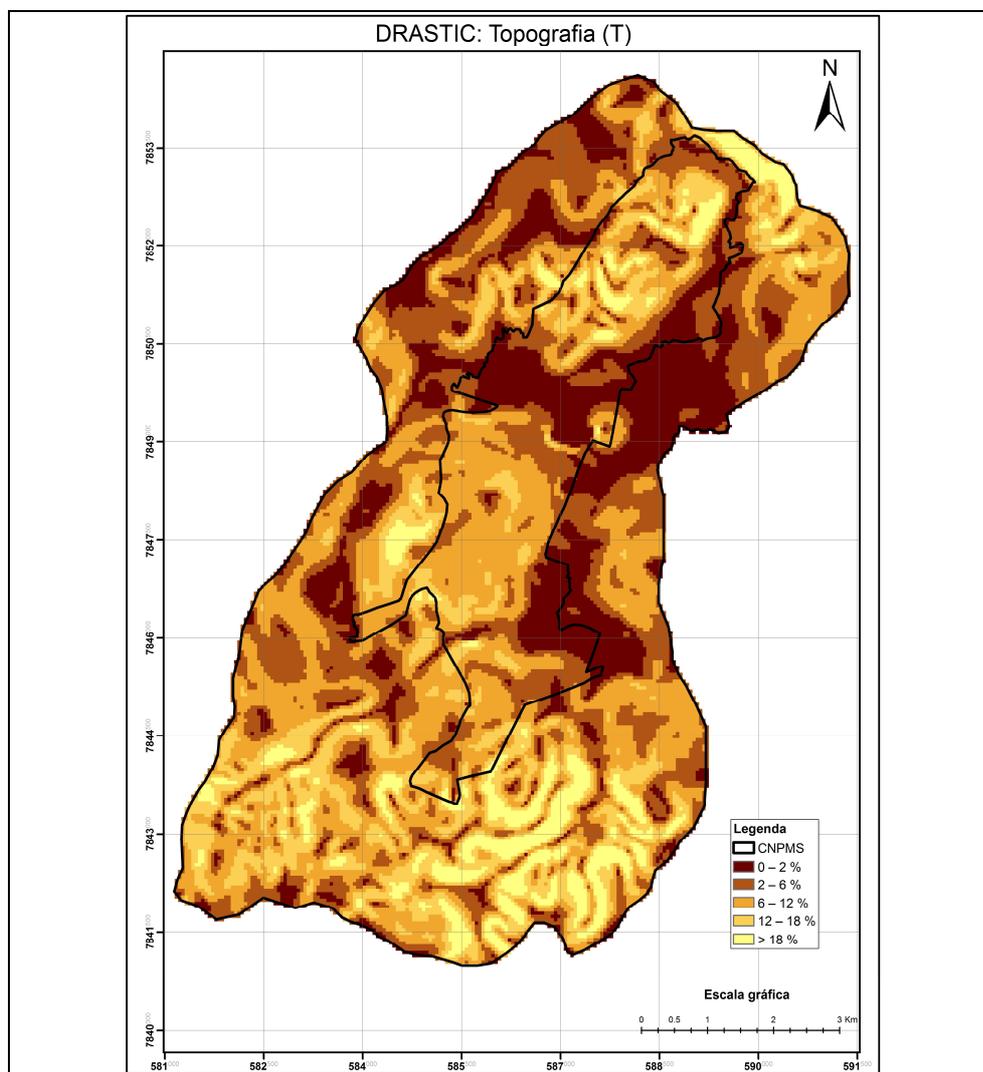


FIGURA 9.5: Mapa de caracterização do parâmetro T: Topografia no entorno do CNPMS.

Como pode ser observado no mapa de declividade, a área de estudo é caracterizada, principalmente, por declividades baixas situadas nos intervalos 2 a 6 %. A estas classes, foram atribuídos os valores mais altos de avaliação, ou seja, 9 (2 a 6 %).

Em áreas planas, quando submetidas a uma carga de contaminante, o risco de vulnerabilidade à contaminação do aquífero é maior, como consequência da redução do escoamento superficial da água, o que favorece a infiltração do contaminante à zona saturada.

Nas regiões sul e oeste área de estudo, as declividades são maiores, caracterizando terrenos mais acidentados. Para estas áreas foram atribuídos valores de avaliação menores (1, 3 e 5), em decorrência do risco de contaminação do aquífero ser menor. Isto porque, o aumento da

declividade diminui a possibilidade de infiltração do contaminante que é carregado junto com a água escoada.

9.6 Influência da Zona Vadosa - I

A caracterização do material da zona vadosa foi baseada nas descrições dos perfis dos furos de sondagem e nos perfis dos poços de monitoramento apresentados nos Anexos II e V. A TAB. 9.4 apresenta os valores dos pesos e índices de avaliação utilizados para a classificação do índice DRASTIC, e a FIG 9.6 o respectivo mapa de caracterização do parâmetro I.

TABELA 9.4: Valores correspondentes aos pesos e índices de avaliação para os materiais que compõem a zona vadosa.

Influência da Zona Vadosa - I			
Litologia da área de estudo	Material da Zona Vadosa	Peso	Índice de Avaliação
Formação Sete Lagoas • Membro Lagoa Santa • Membro Pedro Leopoldo	Material de alteração das rochas pelito – carbonáticas (Grupo Bambuí)	4	8
Formação Serra de Santa Helena	Metapelitos alterados/fraturados	4	4
Complexo Belo Horizonte	Material de alteração /saprolito	4	5

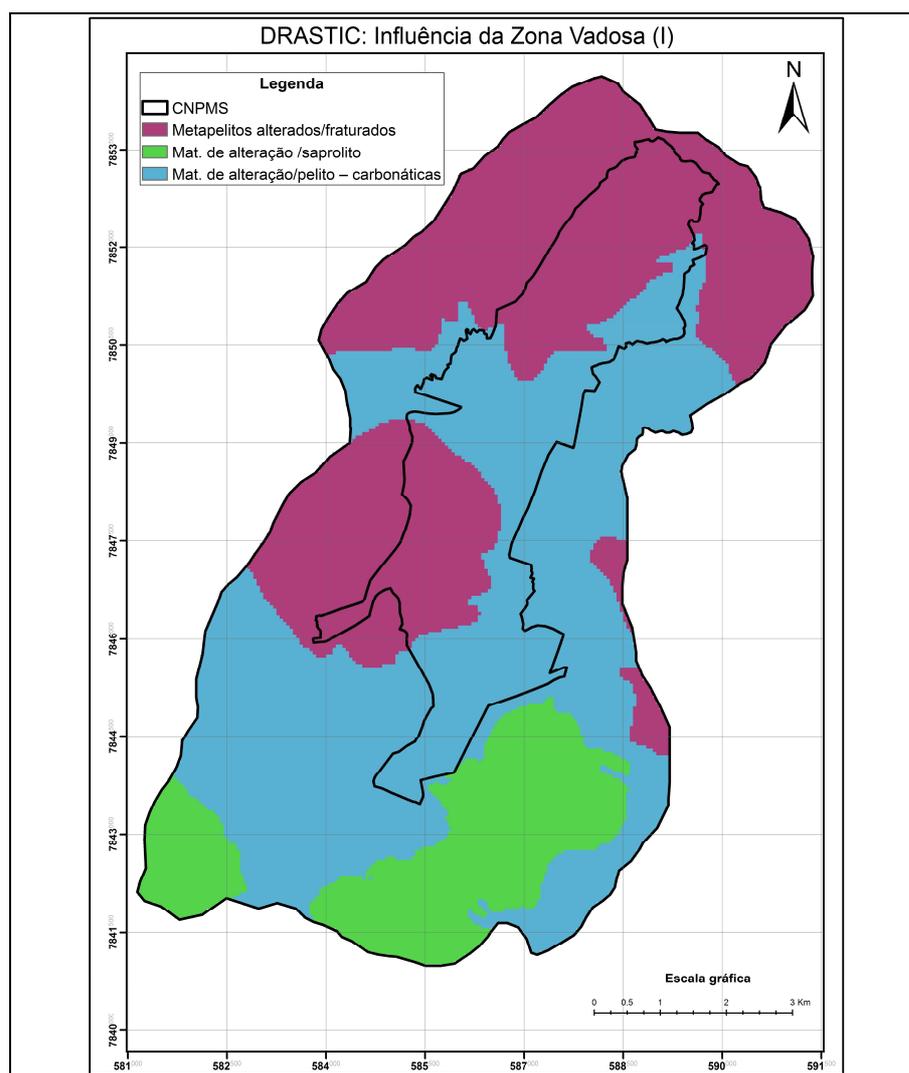


FIGURA 9.6: Mapa de caracterização do parâmetro I: Influência da zona vadosa no entorno do CNPMS.

9.7 Condutividade Hidráulica do Aquífero - C

Os valores da condutividade hidráulica para cada litotipo da área de estudo foi determinado com base na literatura e está apresentado na TAB. 9.5.

TABELA 9.5: Valores correspondentes aos pesos e índices de avaliação para a condutividade hidráulica.

Condutividade Hidráulica - C			
Litologia da área de estudo	Condutividade (cm/s)	Peso	Índice de Avaliação
Formação Lagoa Santa	$10^{-1} - 10^{-3}$	2	9
Formação Serra de Santa Helena	$10^{-4} - 10^{-5}$	2	6
Complexo Belo Horizonte	$10^{-3} - 10^{-5}$	2	7

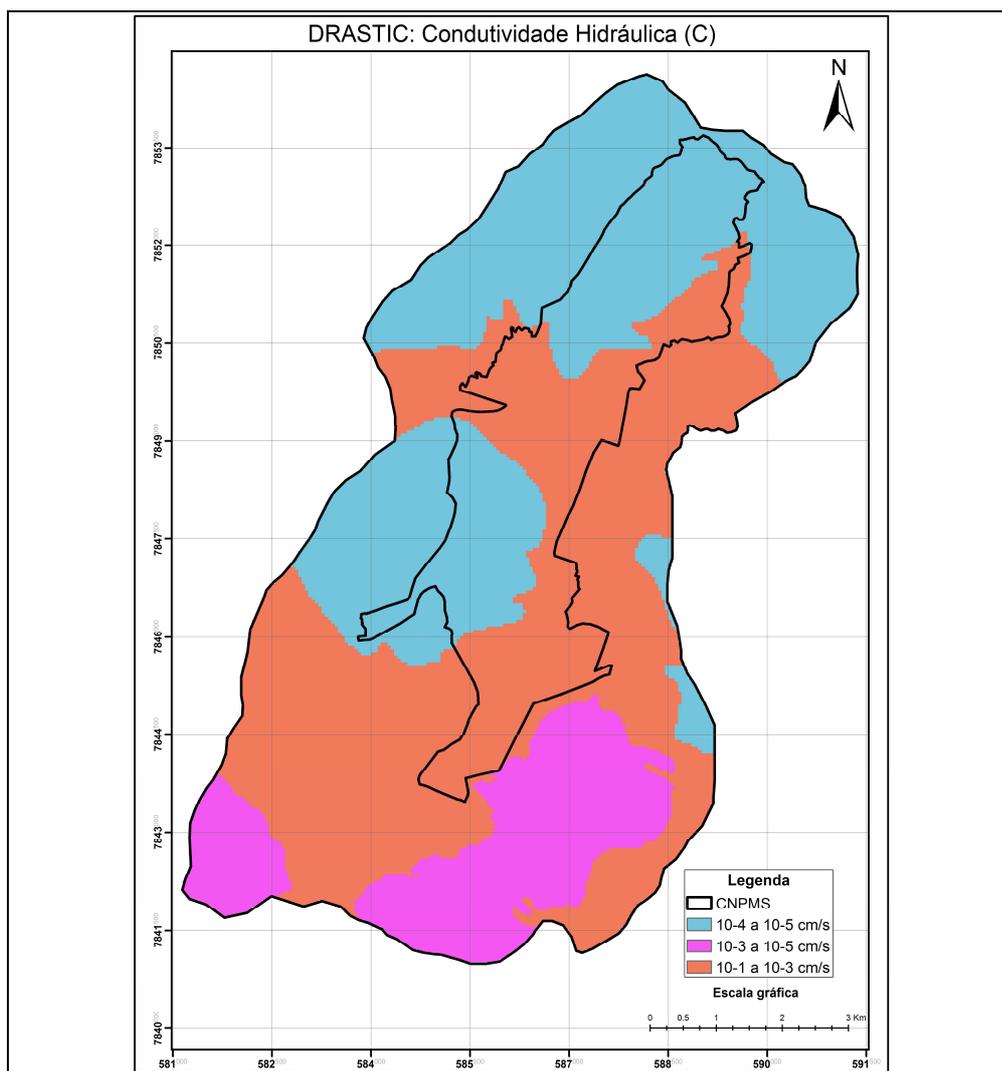


FIGURA 9.7: Mapa de caracterização do parâmetro C: Condutividade hidráulica no entorno do CNPMS.

10 AVALIAÇÃO E MAPA PRELIMINAR DA VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ENTORNO DO CNPMS

O mapa preliminar da vulnerabilidade foi elaborado através da álgebra de mapas (análise de multi-critérios), utilizando o software ArcGIS versão 9.2.

Após a fase de atribuição de valores foi realizado o cruzamento dos sete mapas: mapa de profundidade do lençol freático (D), mapa de recarga do aquífero (R), mapa de tipo de aquífero (A), mapa de tipo de solos (S), mapa de topografia (T), mapa de impacto da zona vadosa (I) e o mapa de condutividade hidráulica (C).

A soma dos produtos dos pesos e índices de avaliação de cada parâmetro de vulnerabilidade DRASTIC ($Da * Dp + Ra * Rp + Aa * Ap + Sa * Sp + Ta * Tp + Ia * Ip + Ca * Cp$; na qual: a – índice de avaliação atribuída ao parâmetro e p – peso atribuído ao parâmetro), produziu a classificação final, transformada então em vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos livres no entorno do CNPMS.

Os índices de vulnerabilidade obtidos variaram de 124 a valores superiores a 200, permitindo o agrupamento de cinco classes de vulnerabilidade: baixa, moderada, alta, muito alta e extrema. A TAB. 9.6 mostra os intervalos das classes de vulnerabilidade com os respectivos valores de área em Km².

TABELA 9.6: Classes de vulnerabilidade para a área de estudo.

Intervalo de Valores	Classificação da Vulnerabilidade	Área (Km ²)	Fração da área (%)
124 - 139	Vulnerabilidade Baixa	0.90	1.17
140 - 159	Vulnerabilidade Moderada	16.23	20.92
160 - 179	Vulnerabilidade Alta	26.49	34.14
180 - 199	Vulnerabilidade Muito Alta	23.43	30.20
> 200	Vulnerabilidade Extrema	10.53	13.58
		77.60	100.00

É importante ressaltar que o índice determinado é independente da carga poluente. No caso de se pretender determinar o risco de uma determinada área com relação a um tipo específico de poluente é necessário considerar outros fatores, como as propriedades físico-químicas do poluente, a intensidade de aplicação, a persistência do contaminante no ambiente dentre outros.

Conforme mostrado no mapa da FIG 9.8, para as classes de vulnerabilidade baixa e moderada o risco de poluição foi minimizado, principalmente pela profundidade mais elevada do lençol freático, tipo de material da zona vadosa e a variação na declividade do terreno.

As classes de vulnerabilidade alta e muito alta (26 km² ou 34 %) foi dominante na área de estudo e está distribuída próximas aos córregos Jequitibá e Matadouro, onde o nível d'água subterrânea está mais próximo da superfície e as cotas topográficas mais baixas.

Conforme apresenta a FIG. 9.8, os graus de vulnerabilidade natural variam de baixa a extrema, com predominância, na maior parte da área, de vulnerabilidade alta (índice de 160 a 179). O mapa de vulnerabilidade denota a importância do fator profundidade do nível d'água uma vez que a faixa de maior vulnerabilidade corresponde à de menores profundidades do lençol freático.

Neste mapa é possível verificar que a vulnerabilidade aumenta com a proximidade do ribeirão Matadouro e Jequitibá e diminui nos divisores de água. Em locais de declividade superior a 12 % e com a profundidade do nível d'água em torno de 30 metros, foi obtida vulnerabilidade baixa a moderada.

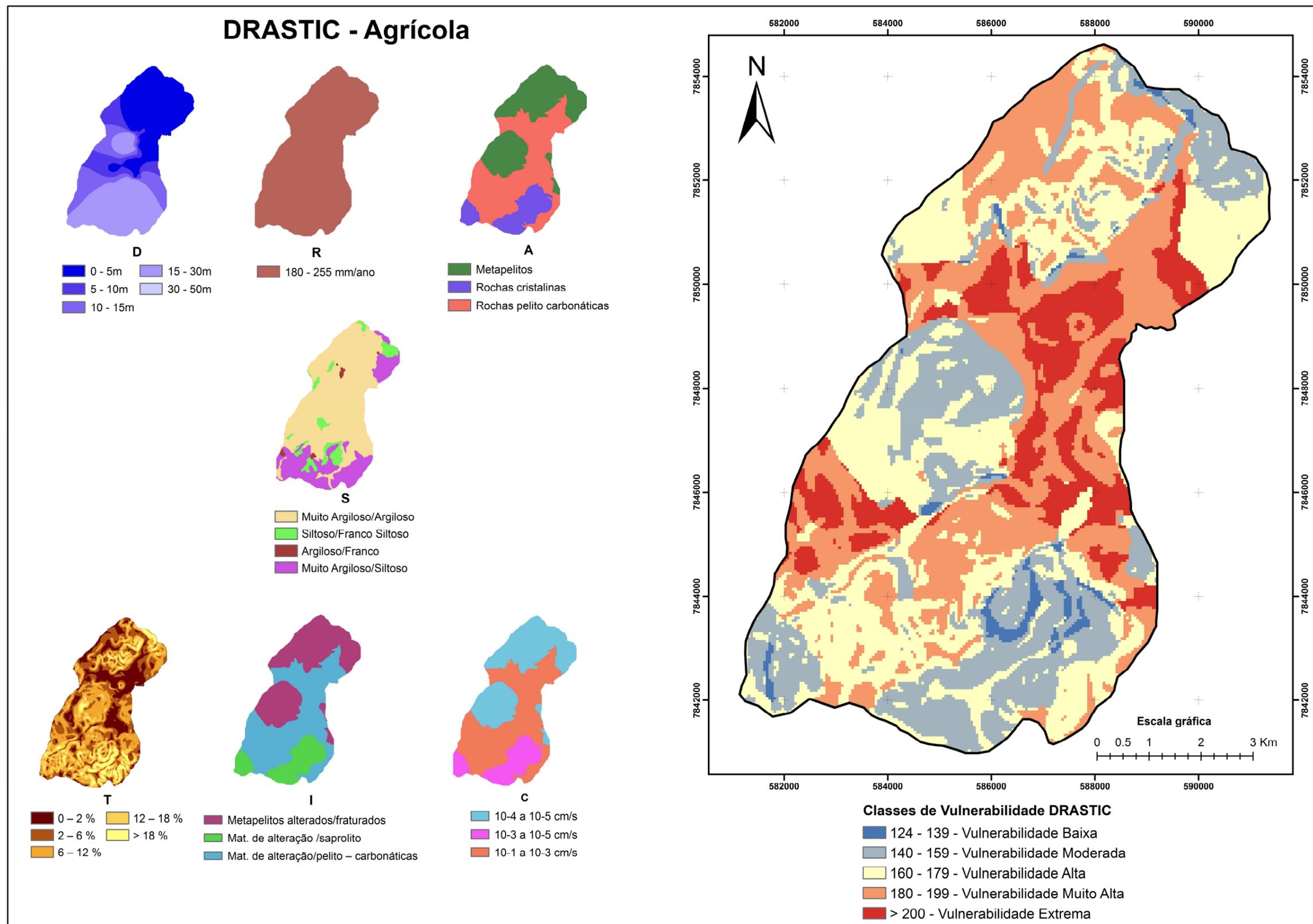


FIGURA 9.8: Mapa preliminar da vulnerabilidade à contaminação no entorno do CNPMS.

A FIG. 9.9 apresenta a localização das áreas de cultivo agrícola do CNPMS no mapa preliminar da classificação da vulnerabilidade. Pode-se observar que essas áreas estão localizadas em regiões classificadas como vulnerabilidade natural moderada e alta.

Deste modo é importante que nessas áreas sejam realizados estudos mais detalhados em relação do tipo de agroquímico utilizado, suas características físico-químicas, formas de iteração com o solo e como ocorre a degradação dessas substâncias no meio ambiente. Além disso, é fundamental que essas áreas sejam monitoradas visto a existência do potencial de contaminação da água subterrânea.

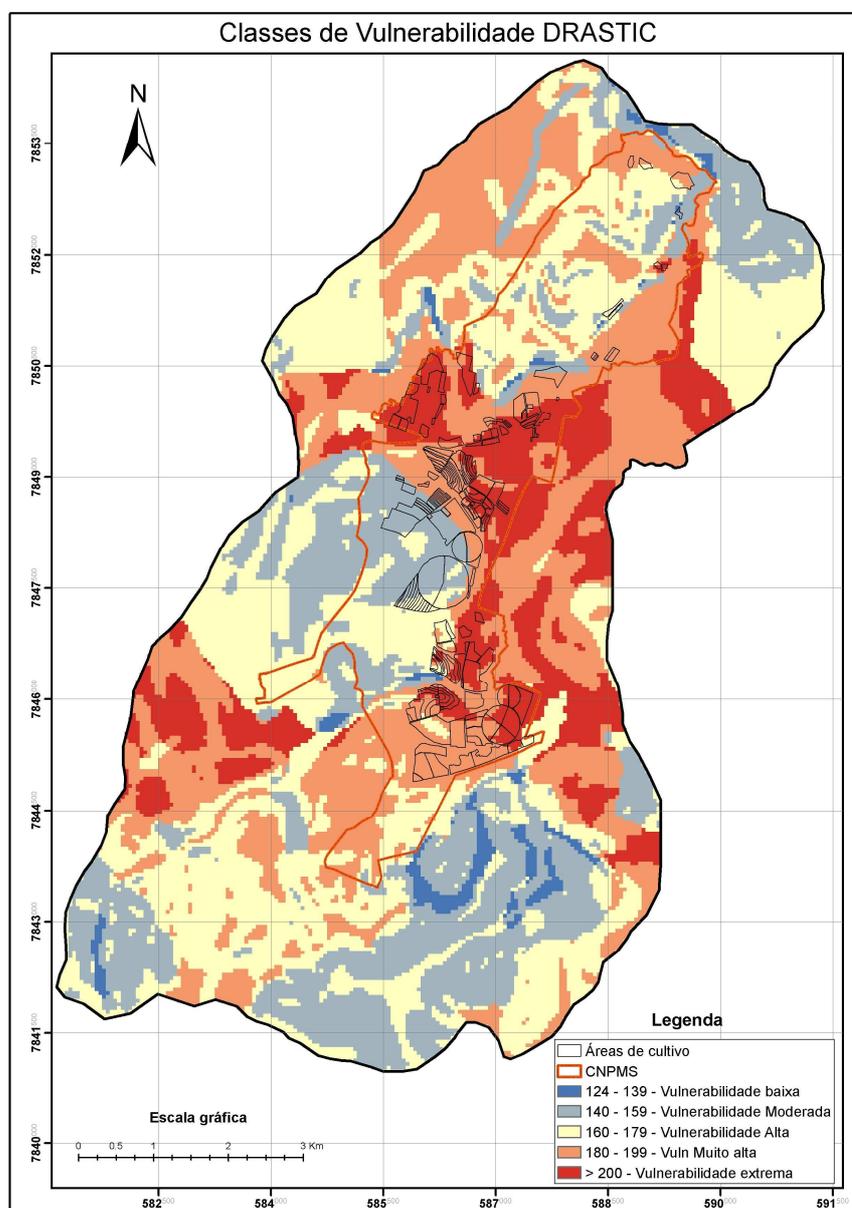


FIGURA 9.9: Mapa preliminar da vulnerabilidade natural à poluição do aquífero freático no entorno do CNPMS com a localização das áreas de cultivo agrícola.

11 CONCLUSÕES

O presente estudo consistiu em uma caracterização hidrogeológica e avaliação preliminar da vulnerabilidade de contaminação das águas subterrâneas no entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo (CNPMS), em Sete Lagoas/MG.

Para a realização deste trabalho foram executadas algumas tarefas iniciais tais como: caracterização hidrogeológica, geológica, pedológica, topográfica e estudos de balanço hídrico. A partir destes estudos, foi possível gerar o mapa preliminar da vulnerabilidade de contaminação da água subterrânea, utilizando o método DRASTIC Agrícola (ALLER *et al.*, 1987), o qual indicou as diferentes classes de vulnerabilidade no entorno do CNPMS.

Foi possível também, rever e reformular o modelo hidrogeológico conceitual representativo da região do CNPMS, e de seu entorno, incorporando as novas informações e concepções geológicas, pedológicas e hidrogeológicas sobre o local. A partir deste modelo foi possível refinar o modelo hidrogeológico computacional, já existente, readaptando-o e complementando-o de acordo com as novas concepções do respectivo modelo conceitual.

Os resultados obtidos na etapa de caracterização da área de estudo permitiram concluir que:

- ✓ O material detrito – laterítico da Formação Serra de Santa Helena apresenta-se expressivamente em toda a área do CNPMS. Esse fato foi evidenciado a partir das descrições qualitativas do material geológico dos furos de sondagens e dos poços de monitoramento hidrogeológico e da qualidade da água subterrânea.
- ✓ As rochas carbonáticas, possivelmente calcários do membro Lagoa Santa (Formação Sete Lagoas), apresentam-se sotopostas ao material detrito-laterítico, variando de 10 a 60 metros de profundidade.
- ✓ Os instrumentos de monitoramento do nível d'água tem profundidade média de 21 metros, sendo o mais profundo com 52,0 metros (PC-05/Piezômetro) e os mais rasos 6,0 metros (PC-06, PC-09, PC-16 e PC-2) O nível d'água subterrânea medido nos poços de monitoramento variou de aproximadamente 30 metros a 1,5 metros. O nível d'água mais profundo corresponde à região com a cota topográfica mais elevada enquanto que o nível mais baixo encontra-se próximo às lagoas.

- ✓ Os valores da condutividade hidráulica medida situam-se entre 10^{-3} e 10^{-6} cm/s, sendo que os valores mais elevados foram medidos nas áreas de distribuição dos Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelhos Amarelos, e os valores mais baixos foram medidos nas áreas de afloramento do saprolito da Formação Serra de Santa Helena.

O modelo hidrogeológico computacional apresentou-se coerente com o respectivo modelo conceitual, mostrando que o fluxo d'água subterrânea ocorre dos altos topográficos em direção às respectivas drenagens, tais como córregos Jequitibá e Matadouro, e de sul para norte, em direção ao nível de base local, que é o rio das Velhas.

O modelo indicou que as lagoas Olhos d'água e Subida da estação são áreas de descarga da água subterrânea. Na região da lagoa da Capivara o fluxo d'água subterrânea tende a ser epidérmico e o fluxo de água sob a lagoa se direciona para os elementos hidrogeológicos de base, representados pela lagoa Olhos d'Água e córrego Matadouro.

As linhas de fluxo mais profundas que alimentam esses dois sistemas (lagoas Olhos d'água e Subida da estação), tem origem nas áreas de recarga local, as quais hospedam as áreas de cultivo agrícola do CNPMS, e conseqüentemente as potenciais influências dessas atividades nessas áreas, serão refletidas nesses pontos de descarga.

Ao contrário da expectativa do modelo hidrogeológico conceitual original, a lagoa da Capivara não constitui um elemento de descarga das linhas de escoamento mais profunda, sendo um sistema de trânsito das águas cujo destino final é representado pela lagoa olhos d'água e córrego Matadouro.

De acordo com as previsões do modelo e dados de monitoramento dos poços pode-se entender que as influências das atividades agrícolas no CNPMS, com relação à qualidade da água, são potencialmente maiores nas lagoas Olhos d'Água e Subida da Estação do que na lagoa Capivara.

Os processos de interação água superficial e água subterrânea, que ocorrem na lagoa Subida da Estação e no complexo lagoa Capivara e lagoa Olhos d'Água, constituem importantes elementos hidrogeológicos locais, podendo ser interpretados como indicadores das relações de causa e efeito pertinentes às atividades agrícolas e à qualidade resultante nas águas subterrâneas e superficiais.

O mapa preliminar de vulnerabilidade natural do aquífero freático, gerado pela distribuição do índice DRASTIC na área de estudo, mostra vulnerabilidades que variam de baixa a extrema, com predomínio da vulnerabilidade muito alta e alta (49.9 Km² ou 64.3 % da área). A vulnerabilidade aumenta com a proximidade dos ribeirões Matadouro e Jequitibá e diminui nos altos topográficos.

Com base no mapa preliminar da vulnerabilidade natural foi possível observar que as áreas de cultivo agrícola no CNPMS estão localizadas nos locais determinados como vulnerabilidade moderada a alta, existindo a possibilidade de contaminação da água subterrânea.

Mesmo com limitações, inerentes a qualquer método, a aplicabilidade do método DRASTIC Agrícola deve-se à quantidade de parâmetros diretos e indiretos utilizados em sua determinação, envolvendo maior variedade de fatores que outros métodos de avaliação da vulnerabilidade natural à poluição de aquíferos.

Contudo, este estudo teve como principal contribuição o melhor entendimento do sistema geológico e hidrogeológico local. A partir das novas concepções geológicas e hidrogeológicas, foi possível reformular o modelo hidrogeológico conceitual e computacional existente, obtendo assim, uma situação de fluxo d'água subterrânea mais coerente com o modelo hidrogeológico conceitual.

Além disso, a avaliação preliminar da vulnerabilidade na área de estudo forneceu os subsídios necessários para apoio ao monitoramento e análise da qualidade das águas do aquífero local, auxiliando na tomada de decisões quanto ao uso e ocupação do solo e procedimentos de planejamento do uso dos recursos hídricos locais.

12 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se como sugestões de trabalhos futuros o aprimoramento e aprofundamento das pesquisas hidrogeológicas no CNPMS que envolvam as seguintes atividades:

- Implantar um plano de monitoramento constante da qualidade da água nos poços de monitoramento;
- Incrementar um plano de monitoramento da hidrologia de superfície, aprimorando assim, o balanço hídrico local;
- Implantar um plano de monitoramento mensal do nível d'água nos poços de monitoramento e lagoas durante pelo menos dois ciclos hidrológicos, ou seja, durante dois anos;
- Implantar um sistema de monitoramento hidrológico e hidrogeológico na região norte da área de estudo;
- Realizar testes de bombeamento (*Slug test*) nos poços de monitoramento para a determinação *in situ* da condutividade hidráulica, que é um parâmetro muito importante na elaboração dos modelos de fluxo da água subterrânea; e,
- Realizar o levantamento geológico-estrutural, com mapeamento dos eixos de fraturamento e carstificação (fundamental para um conhecimento detalhado das direções preferenciais do fluxo d'água subterrânea); realizar furos de sondagem para o detalhamento geológico em profundidade; e
- Explorar o modelo hidrogeológico computacional, no sentido de obter um detalhamento do fluxo d'água subterrânea no CNPMS.

13 REFERÊNCIAS

- ALLER, L., *et al.* *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potencial using hydrogeologic settings*. Washington, D.C., U.S. Environmental Protection Agency, 1987. 643 p. (Publication EPA 600287035).
- ANDERSON, M. P.; WOESSNER, W.W. *Applied groundwater modeling: simulation of flow and advective transport*. Califórnia: Academic Press, 381 p, 1992.
- AVELLAR, G. *et al.* Plano de gestão ambiental da fazenda experimental da EMBRAPA Milho e Sorgo. Relatório interno. 12 p. 2009.
- AVELLAR, G.; SILVA, A. F. *Novas Trilhas no Sertão. História da pesquisa agropecuária em Sete Lagoas: das origens à Embrapa*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 183p.
- BATISTA, R.C.B. *Caracterização hidrogeológica do entorno do Centro Nacional de Pesquisa Milho e Sorgo(CNPMS) em Sete Lagoas – MG*. Belo Horizonte, 2009. 127 p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós - Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- BÓS, S. M. *Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do município de Sananduva – RS*. Passo Fundo, 2008. 95 p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia (Infra estrutura e Meio ambiente), Universidade de Passo Fundo.
- BARBOSA, A. L. M. Simpósio das formações paleozóicas do Brasil, Série Bambuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 19, Rio de Janeiro, 1965. *Anais...Rio de Janeiro*, SBG, p.11.
- BRASIL. Decreto 4074/2002. *Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências*.
- BRAUN, O. P. G. *Contribuição à estratigrafia do Grupo Bambuí*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 14, Belo Horizonte, 1968. *Anais... Belo Horizonte*, SBG, p. 155-166.
- CASTRO, E., LOUREIRO, C. O. *Projeto Convênio Desa/Embrapa/Copasa: Estudo Hidrogeológico Ambiental, no Entorno da Área Experimental da Embrapa Milho e Sorgo em Sete Lagoas – Minas Gerais: Investigação do Comportamento do Nitrato e da Atrazina, no Solo e na Água Subterrânea*. 48 p. 2008.
- CIVITA, M. *et al.* *Legenda unificata per le carte della vulnerabilita dei corpi idrici soutterranei (Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps)*. Studi sulla vulnerabilita degli Acquiferi. Pitagora, Bologna, v.3, p. 63-71, 1990.
- COHEN, S. Z. *et al.* *Offsite transport of pesticides in water mathematical models of pesticide leaching and runoff*. International Union of Pure and Applied Chemistry, v. 67, n. 12, p. 2109-2148, 1995.
- COSTA, M. T.; BRANCO, J. J. R. *Roteiro para a excursão Belo Horizonte – Brasília*. In: XIV Congresso Brasileiro de Geologia, 14., 1961, Belo Horizonte, publicação 15. p. 9 – 25.
- DARDENNE, M. A. *Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife, 1978. *Anais.SBG*, 2: 597-610.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Plano Diretor da EMBRAPA Milho e Sorgo, 2004 – 2007*. Sete Lagoas. 2005.

FEITOSA, F. A. C. *et al.* *Hidrogeologia: conceitos e Aplicações*. 3 Edição revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM. LABHID, 2008. 812 p.

FOSTER, S. *et al.* *Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environmental agencies*. Washinton: World Bank Group, 2002. 105 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R. *Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional*. In: ANAIS 5. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, ABAS, p. 175-185, 1988.

FRANCÉS, A. *et al.* *Development and Application in the Alentejo Region of a Method to Assess the Vulnerability of Groundwater to Diffuse Agriculture Pollution: the Susceptibility Index*. Lisboa, GeoSystem Center IST, Third International Conference on Future Groundwater Resources at Risk, Junho 2001.

GOGU, R. C., Dassargues, A. Currents trends and future challenges in groundwater assessment using overlay and index methods. *Environmental Geology*, v. 39, n.6, p. 549-559, abril, 2000.

GROSSI SAD, J. H.; QUADE, H. Revisão estratigráfica do Grupo Bambuí (Bloco oriental), em Minas Gerais. In: *Simpósio de Geologia de Minas Gerais*, 3, Belo Horizonte, 1985. Anais...Belo Horizonte, SBQ-MG, p.68-83.

GUIGUER, N., FRANZ, T. *Visual MODFLOW. User's Manual*. Waterloo Hydrogeologic Inc.. Waterloo, Canadá. 1996. 231p.

GUSTAFSON, D. I.; Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 8, p. 339-357, 1989.

HIRATA, R e FERNANDES, A. *Vulnerabilidade à poluição de aquíferos*. In: FEITOSA *et al.* *Hidrogeologia: conceitos e aplicações*. 3. Ed. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, 2008, capítulo 5.4, 405 – 424 p.

JURY, W., *et al.* Evaluation of pesticide groundwater pollution potencial from standart índices of soil-chemical adsorption and biodegradation. *Journal of Environmental Quality*. v.16, n.4, p. 422-428, 1987.

KIM Y, HAMM S (1999). Assessment of the potential for groundwater contamination using the DRASTIC/EGIS technique, Cheongju area, South Korea. *Hydrogeology J.* 7:227–235.

LAKE IR, Lovett AA, Hiscock KM (2003) Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS. *J. Environ. Manage* 68:315–328.

LEE S (2003) Evaluation of waste disposal site using the DRASTIC system in southern Korea. *Env Geol* 44:654–664.

LEGRAND, H. E. System for evaluating contamination potencial of some waste sites. *Journal American Water Works Association*, New York, v. 56, n. 8, p. 959-974, 1964.

LEITÃO, T. E. *et al.* *Poluição das águas subterrâneas: principais problemas, processos de prevenção e de reabilitação*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Cabo Verde, Novembro, 2003.

- LIMA, C.E.P. *Produção de mapas de vulnerabilidade de solos e aquíferos à contaminação por metais pesados para o estado de Minas Gerais*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. 93 p. 2007.
- LOBO-FERREIRA, J.P. e OLIVEIRA, M.M. *Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal. Caracterização dos recursos Hídricos Subterrâneos e Mapeamento DRASTIC da Vulnerabilidade dos Aquíferos de Portugal*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 179/93.GIAS, Lisboa. 1993.
- MARCUZZO, F. F. N., ARANTES, E. J., WENDLAND, E. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial direta para a região de São Carlos – S.P., Irriga, Botucatu, v.13, n.3, p.323-338, 2008.
- MOURA, A. C. *Discussões metodológicas para aplicação do modelo de Polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência de fenômenos em ocupações urbanas – estudo de caso em Ouro Preto – MG*. Anais VII Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos - ENABER, São Paulo, Brasil, p. 9-11, setembro, 2009. FEA.
- NOGUEIRA, Marly. *Sete Lagoas: a dinâmica funcional de um lugar na rede urbana de Minas Gerais*. 2003. 291 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- OLIVEIRA, L.M.M. *et al.* Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 3, n. 1, p 58-67, jan-mar., 2008.
- OLIVEIRA, M. A. M. *Contribuição à geologia da parte sul da Bacia do São Francisco e áreas adjacentes*. Petrobrás, DEPIN, CENPES, Rio de Janeiro, Coletâneas de relatórios de exploração, 1:71-105, 1967.
- PANOSO, L. A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO, M. Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo: suas características e classificação no novo sistema brasileiro. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 5. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2001.
- PARALTA, E. e FRANCÉS, A. Caracterização hidrogeológica e avaliação da vulnerabilidade à poluição do complexo gabro-diorítico de Serpa-Brinches (sector oriental do sistema aquífero dos Gabros de Beja). *GeoNovas, Revista da Associação Portuguesa de Geólogos*, nº14, p 27-35, Porto, 2000.
- PESSOA, P. Fernando Pereira. *Hidrogeologia dos aquíferos cársticos da região de Lagoa Santa, MG*. 2005. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- PESSOA, Paulo Fernando Pereira. *Caracterização hidrogeológica da região cárstica de Sete Lagoas – MG: potencialidades e risco*. 1996. 101 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- RAO, P. S. C., *et al.* *Indices for ranking the potencial for pesticide contamination of groundwater*. Soil Crop Sci. Soc., v. 44, p. 1-8, 1985.
- RIBEIRO, J. H., TULLER, M. P., FILHO A. D., PADILHA, A. V., CORDÓBA C. V. (2003). *Projeto VIDA: Mapeamento geológico, região de Sete Lagoas, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Lagoa Santa, Vespasiano, Capim Branco, Prudente Morais, Confins e Funilândia, Minas Gerais – Relatório final, escala final 1:50 000*. 2 Ed., Belo Horizonte: CPRM, 54 p.

- RIMANN, E. A. *Kimberlita no Brazil*. Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto, Ouro Preto, n.15, p. 27-32, 1917.
- SANCHES, S.M. *et al.* *Pesticidas e seus respectivos riscos associados à contaminação da água*. In: *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 13, p. 53-58, 2003.
- SCHOLL, W. U. *Estromatólitos (Conophyton) em dolomitos do Grupo Macaúbas*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29: Ouro Preto, 1976. Anais.Ouro Preto, SBG, 2:67-73.
- SEGURA, J.E.S. *Avaliação da Vulnerabilidade da água subterrânea à contaminação com praguicidas (uma proposta metodológica)*. Belo Horizonte, 1997. 184 p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós - Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.
- SILVA, J. C. S. *Caracterização hidrogeológica ambiental da área de influência da Mina da Lapa Vermelha, na região cárstica de Lagoa Santa, MG*. 2003. 270 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- SOILMOISTURE EQUIPMENT CORPORATION–SEC. *2800 K1 Guelph Permeameter Operation Instructions*. Santa Barbara. Estados Unidos da America. 1998.
- SOPER, R. C. *Groudwater vulnerability to agrochemical: A GIS: based DRASTIC model Analysis of carrol, chariton, and aaline counties*. Missouri, USA. 2006. 147 p. Master degree dissertation. Graduate School University of Missouri, Columbia.
- SPADOTTO, C. A. Screening method for assessing pesticide leaching potential. *Pesticidas: revista de ecotoxicologia e meio ambiente*, Curitiba, v. 12, p. 69-78, 2002.
- TALTASSE, P. *Mapas da vulnerabilidade à poluição dos lençóis aquíferos do município de Campinas (SP)*. São Paulo: USP – Instituto de Geociências, 1972. (Publicação Avulsa, n.1).
- TAVANTI, D.R., *et al.* Estudo da vulnerabilidade de contaminação de aquífero por agrotóxicos, na região de Descalvado e Analândia (SP). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v 14, n 1, p 53-61. Jan-Mar, 2009.
- TUCCI, C.E.M.; BELTRAME, L. F. S. *Evaporação e evapotranspiração*. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 2001. p. 253-288.
- VASCONCELOS, S. M. S. Estimativa da recarga subterrânea a partir do balanço hídrico: exemplo de Fortaleza (CE). *Revista de Geologia*, Fortaleza, v.1, p.27-34, 1994.
- VIANA, J. H. M. *Distribuição espacial de atributos físico-químicos, mineralógicos e micromorfológicos de latossolos, visando o mapeamento de áreas produtivas*. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas/Universidade Federal de Viçosa. 209 p. 2005.
- VOGUEL, M. M. *Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação dos recursos hídricos subterrâneos na região cultural da Quarta Colônia de Imigração Italiana, RS. Santa Maria*, 2008. 138 p. Dissertação de mestrado – Programa de Pós – Graduação em Geografia e Geociências, Universidade Federal de Santa Maria.
- WANG Y, Merkel BJ, Li Y, Ye H, Fu S, Ihm D (2007) *Vulnerability of groundwater in Quaternary aquifers to organic contaminants: a case study in Wuhan City, China*. *Env. Geol.* 53:479–484.

ANEXO I – TABELAS

TABELA 7.1: Temperatura média mensal no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

TABELA 7.2: Precipitação pluviométrica mensal no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

TABELA 7.3: Evapotranspiração Potencial no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

TABELA 8.1: Cadastro dos pontos d`água no entorno do CNPMS.

TABELA 7.1: Temperatura média mensal no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

Ano Hidrológico	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (°C)											
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
	PERÍODO CHUVOSO						PERÍODO SECO					
1960/1961	22.30	21.50	21.80	21.20	22.60	22.30	21.30	18.90	18.00	17.50	19.20	23.10
1961/1962	22.10	23.60	22.00	22.30	22.60	22.40	21.00	18.40	16.10	16.50	19.20	20.90
1962/1963	20.70	21.70	21.40	23.60	22.70	23.90	22.00	18.30	16.80	16.90	19.10	22.00
1963/1964	24.80	24.90	23.70	22.00	23.30	22.20	22.00	19.20	17.30	16.90	19.40	21.00
1964/1965	21.60	21.00	21.60	22.10	22.50	21.60	21.20	20.00	18.70	17.80	19.90	14.20
1965/1966	21.00	21.90	23.10	22.40	23.00	22.50	20.80	19.10	17.50	18.00	19.40	20.40
1966/1967	23.00	21.60	23.00	23.00	23.20	22.90	21.10	19.00	18.50	17.50	19.80	21.50
1967/1968	23.00	21.90	21.40	23.00	21.40	21.80	19.70	16.50	15.80	16.50	17.30	19.50
1968/1969	20.90	22.80	22.10	23.30	24.10	23.50	22.00	20.30	18.70	18.70	20.70	22.70
1969/1970	23.00	23.00	21.80	23.00	23.20	23.50	21.60	20.70	19.60	18.10	19.20	21.30
1970/1971	22.30	22.10	24.50	23.70	23.90	23.50	22.40	19.80	18.50	18.20	19.30	20.30
1971/1972	20.60	20.70	22.10	23.40	22.70	23.00	20.00	18.40	17.90	17.80	19.60	20.40
1972/1973	22.40	23.00	23.00	24.20	24.00	23.20	23.10	19.30	19.30	18.80	20.20	20.90
1973/1974	21.30	21.90	23.00	22.90	23.10	22.20	21.00	19.30	17.10	16.70	18.80	22.30
1974/1975	22.30	22.30	21.70	22.70	23.80	23.50	20.60	18.50	17.90	16.70	19.20	21.00
1975/1976	22.20	21.90	22.60	23.90	22.80	22.70	21.30	19.40	18.60	17.30	19.60	20.60
1976/1977	21.00	21.90	22.00	22.50	23.20	24.00	21.80	18.70	18.70	18.30	20.50	20.80
1977/1978	22.80	23.00	22.70	22.70	22.40	22.10	20.70	18.30	17.00	18.00	18.50	19.80
1978/1979	22.40	21.80	22.10	21.50	22.10	21.90	20.50	19.50	16.40	16.80	19.40	20.10
1979/1980	22.40	21.80	22.90	22.40	22.60	22.50	21.30	20.00	17.70	18.00	19.70	20.50
1980/1981	23.00	22.20	22.50	22.10	22.80	23.20	20.40	18.80	17.20	16.30	18.60	21.40
1981/1982	21.10	21.80	22.30	21.80	22.70	22.30	19.70	17.80	18.50	17.80	20.00	20.70
1982/1983	22.50	24.60	22.30	22.30	22.90	22.20	21.30	20.30	19.30	18.20	18.50	21.20
1983/1984	20.90	21.90	21.90	23.40	24.30	23.20	21.40	20.80	18.90	18.80	19.30	19.90
1984/1985	22.10	22.50	22.40	22.10	23.30	23.00	21.30	19.30	15.40	16.10	19.20	20.50
1985/1986	21.90	22.10	21.90	22.80	23.00	23.40	22.00	20.50	17.30	17.30	19.90	20.20
1986/1987	22.80	23.10	22.70	23.70	23.50	22.90	21.80	20.50	17.90	18.30	19.70	21.60
1987/1988	24.40	23.30	22.60	23.90	23.20	22.70	22.40	20.40	17.50	16.40	18.40	22.50
1988/1989	21.80	21.60	22.60	23.20	23.40	22.70	22.30	19.00	18.10	16.30	19.00	22.20
1989/1990	21.70	22.30	21.80	23.60	23.30	23.60	22.80	19.40	18.00	18.20	18.70	20.40
1990/1991	23.00	23.80	23.00	22.10	23.30	22.60	21.40	19.10	18.30	17.40	18.60	20.40

Continuação

Ano Hidrológico	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (°C)											
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
	PERÍODO CHUVOSO						PERÍODO SECO					
1991/1992	21.60	22.40	23.10	22.10	21.70	22.70	22.30	20.50	18.50	17.90	19.70	20.20
1992/1993	21.80	21.90	22.00	22.80	22.60	23.70	22.00	18.90	17.50	18.80	19.10	22.40
1993/1994	22.60	23.50	22.70	22.70	24.50	22.20	21.40	20.50	17.80	18.00	18.80	21.50
1994/1995	24.00	23.00	23.00	24.30	23.30	23.00	21.60	20.00	17.30	19.20	20.70	21.50
1995/1996	23.00	22.00	22.80	23.70	23.70	23.60	21.50	18.60	17.20	17.50	19.00	21.00
1996/1997	23.20	21.70	22.70	22.90	22.50	21.80	20.50	18.20	17.00	17.50	18.60	23.30
1997/1998	23.80	24.90	23.90	23.90	24.90	24.30	22.90	19.70	17.60	18.00	21.30	23.40
1998/1999	22.80	22.30	23.60	24.00	24.20	23.00	22.00	18.70	18.60	19.40	18.80	21.60
1999/2000	21.90	21.50	22.50	23.40	23.30	22.70	21.60	19.00	18.30	18.10	19.70	20.60
2000/2001	24.30	22.00	23.60	23.70	24.80	23.30	22.80	20.00	19.30	18.90	19.30	21.20
2001/2002	21.40	22.90	22.50	23.60	22.60	23.40	22.40	21.00	19.30	18.80	20.90	21.00
2002/2003	24.40	23.20	23.70	23.20	23.80	23.00	22.40	18.60	18.80	17.70	20.20	21.80
2003/2004	23.20	23.20	23.90	22.90	22.20	22.00	21.20	20.00	18.00	16.90	19.20	22.40
2004/2005	23.70	23.90	22.70	23.30	23.00	23.00	22.50	19.70	18.60	18.20	20.20	22.00
2005/2006	24.20	21.70	22.00	23.60	24.20	22.90	21.60	18.70	17.50	17.60	20.30	21.30
2006/2007	22.30	22.30	23.00	23.10	22.60	23.50	22.30	19.30	18.20	18.70	19.20	21.80
2007/2008	24.20	23.50	23.30	22.50	23.50	22.70	22.70	19.30	19.00	17.60	20.60	21.60
2008/2009	24.00	23.10	22.70	23.60	23.70	23.80	21.60	19.80	18.30	19.60	20.20	23.50
2009/2010	23.20	24.40	22.90	23.00	23.20	22.90	21.50	19.30	17.90	17.70	19.50	21.20
Mínima	20.60	20.70	21.40	21.20	21.40	21.60	19.70	16.50	15.40	16.10	17.30	14.20
Máxima	24.80	24.90	24.50	24.30	24.90	24.30	23.10	21.00	19.60	19.60	21.30	23.50
Média	21.21	22.54	22.62	22.98	23.18	22.89	21.58	19.35	17.94	17.76	19.46	21.15

TABELA 7.2: Precipitação pluviométrica mensal no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

Ano Hidrológico	PRECIPITAÇÃO (mm/mês)												Total
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
	PERÍODO CHUVOSO						PERÍODO SECO						
1960/1961	65.90	285.80	300.80	711.23	8.40	135.80	54.30	22.20	1.80	0.00	0.00	0.00	1586.23
1961/1962	49.50	92.80	136.80	492.01	87.40	143.40	2.40	3.90	20.00	2.00	0.70	32.40	1063.31
1962/1963	184.10	225.40	673.10	50.71	17.80	0.00	24.50	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1175.91
1963/1964	30.20	88.30	152.10	477.01	70.10	25.70	43.80	16.10	5.00	47.30	2.00	2.80	960.41
1964/1965	171.30	267.50	354.50	245.64	90.10	210.20	22.90	41.60	0.90	6.60	13.60	36.00	1460.84
1965/1966	249.30	222.50	223.30	372.42	2.10	151.50	51.20	44.60	0.00	0.80	0.00	28.40	1346.12
1966/1967	55.70	126.00	283.50	346.81	40.80	127.00	38.20	0.00	4.20	0.00	0.00	0.90	1023.11
1967/1968	48.00	243.20	214.70	137.81	34.00	36.90	112.80	11.70	0.70	0.00	17.20	71.30	928.31
1968/1969	96.70	227.00	214.60	239.21	16.20	104.00	20.70	32.30	6.70	1.30	14.70	27.30	1000.71
1969/1970	160.00	290.30	295.30	348.51	36.80	41.00	68.50	2.60	0.90	14.90	26.30	56.50	1341.61
1970/1971	238.20	242.90	52.20	103.30	49.00	20.40	40.70	33.90	31.40	0.70	2.00	84.30	899.00
1971/1972	136.40	447.20	351.20	71.12	52.00	185.80	67.80	6.60	0.00	51.70	22.60	29.20	1421.62
1972/1973	178.00	250.40	196.60	163.22	4.20	258.00	12.90	21.50	14.20	0.00	2.90	18.70	1120.62
1973/1974	177.20	268.20	279.20	228.81	15.10	230.10	40.20	37.90	17.10	0.00	14.60	0.20	1308.61
1974/1975	151.20	54.00	351.60	182.41	67.50	43.60	88.70	27.70	3.10	43.00	0.00	2.80	1015.61
1975/1976	142.70	238.20	185.20	77.91	23.10	86.40	10.10	16.20	0.00	54.40	9.10	92.60	935.91
1976/1977	107.70	264.50	323.30	427.60	14.10	99.30	74.40	11.60	9.90	25.50	4.10	52.40	1414.40
1977/1978	62.70	282.40	172.50	317.93	11.60	97.90	99.70	79.00	0.00	16.40	0.90	19.60	1160.63
1978/1979	120.10	233.60	163.20	574.75	44.30	97.50	63.40	95.90	0.00	16.50	25.30	47.60	1482.15
1979/1980	121.70	285.10	361.90	249.40	98.10	31.30	164.80	10.90	45.30	0.00	0.50	14.40	1383.40
1980/1981	34.40	324.90	344.40	237.80	20.70	119.10	19.20	11.30	37.90	0.00	36.30	1.20	1187.20
1981/1982	233.50	403.60	346.90	285.90	36.10	316.00	51.90	34.10	0.00	3.60	0.00	7.80	1719.40
1982/1983	64.80	62.40	221.10	471.13	5.10	261.30	107.40	44.50	2.30	19.20	1.50	85.50	1346.23
1983/1984	174.70	235.60	284.60	191.50	5.50	113.10	54.30	0.00	0.00	2.10	45.40	96.60	1203.40
1984/1985	134.80	107.70	341.70	646.21	69.60	428.10	19.70	43.10	12.50	0.00	4.50	57.20	1865.11
1985/1986	72.40	194.80	205.10	247.71	19.30	36.20	24.00	63.60	4.20	30.60	36.40	5.30	939.61
1986/1987	0.30	95.00	273.80	230.60	49.80	200.30	117.80	37.60	16.00	3.60	1.40	52.90	1079.10
1987/1988	73.50	185.80	381.00	216.84	34.40	244.40	82.00	10.50	11.00	0.00	0.00	75.30	1314.74
1988/1989	48.10	183.70	200.10	149.71	24.20	145.40	0.50	1.40	58.70	74.20	8.40	7.80	902.21
1989/1990	98.10	229.60	350.70	115.51	96.10	126.00	2.60	18.70	1.70	22.20	29.80	26.70	1117.71
1990/1991	57.30	229.60	83.10	551.52	0.10	270.80	91.00	6.40	0.00	1.10	0.00	57.90	1348.82

Continuação

Ano Hidrológico	PRECIPITAÇÃO (mm/mês)												Total
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
	PERÍODO CHUVOSO						PERÍODO SECO						
1991/1992	73.70	205.90	187.90	574.92	73.30	21.10	131.40	9.70	40.60	12.40	4.00	108.20	1443.12
1992/1993	106.90	407.10	305.60	133.61	67.20	31.20	68.10	3.50	17.40	0.00	3.80	105.20	1249.61
1993/1994	102.60	187.50	230.80	409.60	74.40	308.90	49.60	46.50	12.30	0.90	0.00	0.80	1423.90
1994/1995	50.20	145.80	313.10	94.92	18.40	257.70	57.50	24.60	0.00	0.00	0.00	64.60	1026.82
1995/1996	105.60	123.70	552.60	149.92	31.60	93.60	45.50	34.80	0.20	1.00	13.70	86.10	1238.32
1996/1997	55.80	484.50	346.20	437.01	35.30	182.80	169.10	40.90	40.30	1.10	3.00	41.10	1837.11
1997/1998	43.50	163.20	387.70	339.82	23.20	79.40	34.50	96.60	0.10	0.00	53.40	0.60	1222.02
1998/1999	82.60	258.90	198.00	175.00	75.00	261.40	4.70	2.40	0.30	0.00	0.00	45.90	1104.20
1999/2000	95.20	245.20	314.10	387.02	16.50	151.70	13.20	2.60	0.10	8.90	38.30	60.20	1333.02
2000/2001	40.60	216.30	282.30	105.50	50.60	134.90	19.80	37.40	0.00	0.10	29.70	65.30	982.50
2001/2002	130.70	338.50	528.40	196.22	47.10	74.80	17.30	11.90	0.00	15.70	0.00	44.00	1404.62
2002/2003	52.20	199.30	327.70	436.20	73.10	133.90	18.80	28.10	0.00	0.00	6.00	28.40	1303.70
2003/2004	18.50	197.20	255.60	379.33	13.00	108.60	104.00	5.00	0.30	46.10	0.00	0.00	1127.63
2004/2005	32.80	104.10	384.90	280.71	48.10	275.20	35.60	26.50	1.10	1.40	8.60	108.20	1307.21
2005/2006	54.80	293.40	275.00	68.61	41.60	316.30	24.50	27.70	2.80	11.80	17.50	38.40	1172.41
2006/2007	87.00	202.40	375.50	389.80	90.20	91.80	119.50	8.50	1.90	6.60	0.00	0.00	1373.20
2007/2008	65.60	147.30	205.80	324.51	8.80	237.60	88.90	0.00	0.10	0.00	15.90	39.40	1133.91
2008/2009	85.50	169.80	401.10	327.72	8.60	174.10	67.70	31.70	1.90	0.00	12.40	54.90	1335.42
2009/2010	282.10	110.00	364.00	290.01	74.30	151.70	55.00	25.50	8.60	10.90	10.50	39.90	1422.51
Mínima	0.30	54.00	52.20	50.71	0.10	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	899.00
Máxima	282.10	484.50	673.10	711.23	98.10	428.10	169.10	96.60	58.70	74.20	53.40	108.20	1865.11
Média	102.09	221.76	291.09	293.25	40.28	149.46	55.94	25.03	8.67	11.09	10.74	40.46	1382.24

TABELA 7.3: Evapotranspiração Potencial no entorno do CNPMS (Fonte: INMET).

Ano Hidrológico	EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL - mm/mês (Método Penman-Monteith)											
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
	PERÍODO CHUVOSO						PERÍODO SECO					
1960/1961	138.50	113.40	123.50	104.31	20.50	127.80	116.00	87.60	82.40	90.20	118.80	137.60
1961/1962	145.60	144.60	131.80	112.81	8.40	131.00	113.80	92.10	78.70	88.20	113.30	116.60
1962/1963	106.20	138.60	97.30	167.21	23.30	152.40	115.60	98.30	78.20	83.20	114.00	123.80
1963/1964	123.50	149.20	172.60	104.01	16.30	133.50	115.50	86.80	79.50	80.40	119.70	139.60
1964/1965	113.20	124.50	112.40	131.80	96.90	104.20	114.70	95.40	76.70	82.40	114.50	130.70
1965/1966	101.80	129.90	144.40	122.11	28.50	131.50	109.40	88.30	84.50	95.60	121.40	134.10
1966/1967	138.20	125.50	133.20	138.01	32.60	129.00	107.30	108.00	91.60	101.40	136.40	144.50
1967/1968	170.50	119.50	116.20	166.31	11.30	141.00	108.20	98.20	85.60	101.10	115.60	140.10
1968/1969	135.60	152.40	145.80	156.01	52.90	143.40	123.40	107.50	93.50	108.10	136.10	163.80
1969/1970	152.10	139.30	139.70	136.31	39.00	144.10	110.60	109.00	95.30	101.50	121.80	124.60
1970/1971	140.30	141.70	182.60	176.51	58.40	148.60	126.80	104.50	83.40	98.90	126.70	117.10
1971/1972	119.90	112.80	119.80	166.21	33.70	139.70	105.40	95.90	88.20	91.50	116.40	125.10
1972/1973	142.40	126.60	151.00	159.51	43.30	122.60	131.00	98.30	86.50	104.10	125.80	133.10
1973/1974	128.60	130.00	142.70	152.01	48.40	114.30	103.20	98.80	83.40	95.90	116.60	161.30
1974/1975	134.20	161.30	124.40	141.41	37.90	154.20	109.80	94.90	79.20	86.40	126.80	143.50
1975/1976	136.80	117.50	157.30	172.11	30.90	134.40	121.70	91.10	88.40	89.10	112.80	103.10
1976/1977	139.50	123.90	110.60	140.91	59.40	148.90	108.90	87.80	81.00	92.20	121.80	118.40
1977/1978	148.70	119.20	141.50	144.61	15.50	133.30	105.00	81.90	75.60	85.10	109.30	119.20
1978/1979	140.40	110.70	134.60	106.01	11.00	120.90	102.70	93.50	79.00	85.20	109.20	110.50
1979/1980	141.30	131.90	122.70	123.01	26.80	141.00	95.80	96.30	79.50	87.90	113.70	109.60
1980/1981	156.90	130.20	131.50	118.91	45.00	112.10	110.80	93.20	75.30	88.80	109.50	130.10
1981/1982	108.50	107.70	129.50	112.21	35.70	89.50	100.10	83.90	81.40	92.70	108.80	132.80
1982/1983	130.50	154.50	110.30	105.31	24.40	114.40	105.60	92.30	84.30	91.40	114.70	107.60
1983/1984	123.40	112.00	112.60	161.81	64.00	133.00	109.10	104.90	89.30	94.50	99.90	113.50
1984/1985	146.00	144.10	127.00	104.41	42.80	122.10	115.20	95.80	79.20	90.90	118.70	122.10
1985/1986	134.50	139.30	131.80	139.91	25.30	139.30	117.50	94.00	82.90	86.40	108.10	128.80
1986/1987	152.00	151.50	119.60	144.81	30.60	132.70	115.00	99.40	75.80	94.80	122.40	126.20
1987/1988	162.50	137.70	123.50	157.81	17.30	144.40	112.30	98.60	85.70	95.00	122.80	154.90
1988/1989	131.40	131.30	137.50	160.41	26.30	135.90	124.00	97.40	77.60	89.10	116.30	134.40
1989/1990	144.30	124.90	123.10	175.91	31.80	147.60	123.40	97.10	81.20	89.70	100.30	128.30
1990/1991	158.40	159.80	149.20	108.51	30.60	124.00	111.70	90.70	83.00	89.30	119.90	120.80

Continuação

Ano Hidrológico	EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL - mm/mês (Método Penman-Monteith)											
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
	PERÍODO CHUVOSO						PERÍODO SECO					
1991/1992	146.60	135.30	133.50	105.91	21.50	136.80	104.60	98.40	82.30	91.90	114.70	106.70
1992/1993	123.60	123.00	128.40	149.11	25.30	143.20	110.10	90.90	79.50	96.60	105.40	127.20
1993/1994	151.30	152.90	129.00	133.21	64.70	111.90	111.80	94.60	80.00	92.00	121.40	148.90
1994/1995	156.30	129.10	140.40	157.11	24.60	137.10	110.20	87.90	78.80	101.70	130.20	136.30
1995/1996	147.90	141.40	127.00	164.51	38.70	136.50	118.50	89.90	82.30	92.90	115.00	126.70
1996/1997	144.80	120.90	126.20	133.11	42.00	115.10	108.00	86.80	75.20	88.70	121.00	140.90
1997/1998	163.30	149.20	138.90	145.01	39.00	140.30	117.50	91.20	78.30	92.90	113.50	149.50
1998/1999	134.40	126.50	146.00	155.51	37.40	123.40	120.90	97.20	81.50	98.10	120.90	136.10
1999/2000	137.10	129.10	134.50	143.01	33.10	125.20	115.90	101.40	87.40	91.60	114.10	119.30
2000/2001	170.70	114.60	145.60	150.21	47.60	134.70	132.90	94.80	86.70	97.20	119.80	126.50
2001/2002	137.00	133.30	124.40	138.61	5.50	145.00	128.40	102.70	87.30	92.40	131.00	131.40
2002/2003	179.00	142.60	137.00	121.61	47.70	119.80	118.60	95.00	90.40	94.60	130.60	137.10
2003/2004	156.70	141.10	145.10	126.21	5.90	123.60	102.20	91.00	79.90	85.50	120.50	155.30
2004/2005	150.60	154.70	123.20	125.61	33.20	118.50	120.30	94.10	78.60	92.60	125.70	125.20
2005/2006	154.60	107.70	119.80	164.01	35.50	115.50	107.50	95.50	81.90	94.60	123.50	132.70
2006/2007	120.40	113.60	120.80	107.11	13.40	151.50	111.60	93.90	85.70	93.30	126.30	149.20
2007/2008	162.50	135.00	147.60	124.41	30.00	129.60	111.20	94.40	83.50	93.50	126.00	133.80
2008/2009	159.30	129.80	122.90	145.21	31.80	133.70	104.80	94.50	78.10	96.70	112.20	131.40
2009/2010	128.20	154.30	113.90	139.01	31.50	130.80	113.10	94.90	82.40	92.40	118.30	130.70
Mínima	101.80	107.70	97.30	104.01	5.50	89.50	95.80	81.90	75.20	80.40	99.90	103.10
Máxima	179.00	161.30	182.60	176.51	96.90	154.20	132.90	109.00	95.30	108.10	136.40	163.80
Média	141.40	132.79	132.08	138.79	33.54	131.26	113.15	95.01	82.51	92.60	118.44	130.81

TABELA 8.1: Cadastro dos pontos d'água no entorno do CNPMS.

Tabela contendo as informações dos pontos d'águas da área de estudo levantadas em campo e através do banco de dados do SIAGAS - CPRM							
Id	Localização do Ponto	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Altimetria (m)	Descrição Geológica	Tipo de Aquífero / Formação Geológica	Nível estático / Data da medida
NASCENTES (Entorno CNPMS)							
N1	Nascente próxima ao poço da subida da estação	586429	7845675	732			
N2	Cerca de 1000 m à Noroeste da Usina Abandonada (Mina do sapo)	586146	7846970	763			
N3	Nascente do Córrego da Papuda	585196	7843049	876			
N4	Nascente do sítio barreiro (olho d'água)	585451	7843592	832			
N5	Nascente próxima à lagoa do Brejão	583866	7846145	741			
N6	Nascente em frente ao NIA	584978	7846473	784			
N7	Nascente da matinha próxima à lagoa da Baiana	585773	7846262	760			
POÇOS ESCAVADOS (Entorno CNPMS)							
C1	EMBRAPA 1 - Próximo à entrada principal do restaurante	587314	7849488	715		Livre / Cobertura cenozóica	
C2	EMBRAPA 2 - Em frente ao escritório do Barão	586881	7848687	721		Livre / Cobertura cenozóica	
C3	EMBRAPA 3 - Ao lado da estufa no escritório dos "Campos Experimentais"	587370	7849629	709		Livre / Cobertura cenozóica	
C4	EMBRAPA 4 - Associação dos funcionários	586341	7849771	711		Livre / Cobertura cenozóica	
C5	Vila EPAMIG - Próximo à drenagem	587841	7847993	716		Livre / Cobertura cenozóica	
C6	Divisa EPAMIG/CNPMS - Próximo da Lagoa da Cascata	587750	7848711	714		Livre / Cobertura cenozóica	
C7	Na sede da fazenda do Sr. Mauro Azevedo Abreu	584515	7845059	752		Livre / Cobertura cenozóica	

Id	Localização do Ponto	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Altimetria (m)	Descrição Geológica	Tipo de Aquífero / Formação Geológica	Nível estático / Data da medida
POÇOS TUBULARES (Banco de dados do SIAGAS)							
3100002478	EIMCAL	588481	7846543	771	0 - 165 (Não descrito)	Livre / Super Grupo Paraobepa	
3100002479	EIMCAL	588393	7846635	774	0 - 145 (Não descrito)	Livre / Super Grupo Paraobepa	16.1 (07/1991)
3100003261	MG 424 - KM 63	587141	7846949	718	0 - 70 (Não descrito)	Confinado / F. Sete Lagoas	
3100003263	MG 424 - KM 63	587120	7847010	719	0 - 65 (Não descrito)	Confinado / F. Sete Lagoas	5.68 (08/1991)
3100003260	MG 424 - KM 63	587135	7847000	719	0 - 75 (Não descrito)	Confinado / F. Sete Lagoas	7.2 (11/1993)
3100003399	Sete Lagoas/ Rua Araponga 141	583765	7847210	741	0 - 41 (Não descrito)	Confinado / F. Sete Lagoas	8.26 (12/1993)
3100003270	Fazenda das areias	585030	7850135	724	0 - 70 (Não descrito)	Confinado / F. Sete Lagoas	
3100003271	Fazenda das areias - Fazenda do Tavares	586095	7850990	729	0 - 26 Argila arenosa 26 - 33.9 Calcário 34 - 36 Argila 36 - 100 calcário	Confinado / F. Sete Lagoas	
3100003250	Fazenda olhos d' água	589395	7851500	693	0 - 10 Argila 10 - 76.5 Calcário	Confinado / F. Sete Lagoas	0.16 (11/1993)
3100003268	Cemitério Parque Boa Vista	585390	7851905	744	0 - 65.5 (Não descrito)		
POÇOS ESCAVADOS - Cacimba/Cisterna (Banco de dados do SIAGAS)							
3100003332	Fazenda Paredão	581630	7842545	844	0 - 15 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica Livre / Complexo Belo	7.4 (06/1991)
3100002529	Fazenda Machado	582198	7843652	791	0 - 39.18 (Não descrito)	Horizonte	32.5 (12/1978)
3100003449	Sítio Brejão	583500	7846605	751	0 - 16 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica	3.6 (06/1991)
3100003324	Fazenda das areias	584820	7849320	730	0 - 17 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica	12.5 (06/1991)
3100003272	Fazenda das areias	585120	7851780	744	0 - 16 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica	4.21 (05/1991)
3100003273	Fazenda das areias	585280	7851890	743	0 - 13.5 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica	1.8 (05/1991)
3100003267	Areias	585300	7849550	722	0 - 17 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica	6.3 (06/1991)
3100003266	Areias	585340	7849535	721	0 - 12 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica	6.0 (06/1991)
3100003317	MG 424 - EPAMIG	589060	7849740	799	0 - 12 (Não descrito)	Livre / Cobertura cenozóica	3.7 (08/1991)

Id	Localização do Ponto	UTM-E (m)	UTM-N (m)	Altimetria (m)	Descrição Geológica	Tipo de Aquífero / Formação	Nível estático / Data da medida
POÇOS DE MONITORAMENTO HIDROGEOLÓGICO E DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA (Localizados na área do CNPMS - EMBRAPA)							
PC1	Montante1	586015	7848046	810	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	29.26
PC2	Centro Pivô 1	586694	7848060	748	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	20.26
PC3	Centro Pivô 3	586385	7847599	773	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	15.85
PC4	Stress 2	586327	7849069	736	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	33.5
PC5	Capivara1	586628	7848701	728	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	16.82
PC6	Capivara2	587063	7848938	719	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	3.06
PC7	Capivara3 (Piezômetro)	587063	7848938	719	Manto de Alteração	Confinado / F. Lagoa Santa	5.5
PC8	Stress 3 - Olhos d'Água	586454	7849510	708	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	1.47
PC9	Lagoa do Trevo	586699	7847137	729	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	2.14
PC10	Esg.Quim1	587636	7849437	716	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	6.73
PC11	Esg.Quim2	587659	7849432	716	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	5.82
PC12	Stress 1	586243	7848538	754	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	17.78
PC13	Córrego Matadouro	587223	7849794	705	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	2.43
PC14	Portaria	586810	7847588	736	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	13.82
PC15	Cascatinha1	586865	7848200	743	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	12.46
PC16	Cascatinha2	587057	7848228	721	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	1.44
PC17	Estação Meteorológica	586762	7845385	751	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	25.32
PC18	Montante2	586098	7845528	763	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	25.32
PC19	Centro Pivô 2	587155	7845648	732	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	12
PC20	Centro Pivô 4	587256	7846033	729	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	15.62
PC21	Norte Pivô 4	587265	7846189	725	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	9.49
PC22	Oeste Pivô 4	587034	7846104	725	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	4.45
PC23	Lagoa Estação	586674	7845777	727	Manto de Alteração	Livre / Cobertura cenozóica	2.4

ANEXO II

Descrição qualitativa dos horizontes dos perfis e arquivos gráficos dos furos de sondagem.

PONTO A1



Perfil litológico no ponto A1		
Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0-30	A _p	Solo superficial, argiloso escurecido pela presença de matéria orgânica
30-140	B ₁	Material amarelo-pardo, argiloso, apresentando concreções de ferro.
140-170	2B ₁	Descontinuidade do material. Material mais escuro, vermelho, com possíveis inclusões de carvão.
170-257	2B ₂	Material argiloso, avermelhado, com óxido de ferro associado. A cerca de 237 cm apresentou grãos de quartzo.
257-270	2B ₃	Material mais siltoso.
270-280	2B ₄	Material com granulometria diversificada, bem avermelhado e com menor umidade.
280-330		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
330-340		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
340-395		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
395-420		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
420-465		Continuação do Horizonte 2B ₄ . Aparecimento de possíveis concreções de manganês e de fragmentos de quartzo.
560-570		Continuação do Horizonte 2B ₄ Material mais amarelado e presença de areia. Umidade
570-620		Continuação do Horizonte 2B ₄ . Material mais amarelado e bastante arenoso com presença de umidade.
620-900	C	Material saturado, amarelo com mosqueado e evidência de processo de gleização; muito argiloso; presença de cascalho fino e areia.

PONTO A2



Local do ponto A2 e a sequência das amostras

Perfil litológico no ponto A2

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0-30	A	Solo superficial, argiloso escurecido pela presença de matéria orgânica
30-216	B ₁	Material avermelhado escuro, argiloso
216-245	B ₂	Material avermelhado escuro, mais argiloso, mais úmido.
245-335	B ₃	Material avermelhado escuro, mais argiloso, apresentando concreções amarelas .
335-520	B ₄	Material vermelho amarelado, mais claro, argiloso, apresentando fragmentos de quartzo.
520-605	B ₅	Material vermelho amarelado, mais claro, argiloso.
605-661	BC	Material vermelho amarelado, argiloso.
661-730	C	Material amarelo, argiloso, com areia fina e material mosqueado, apresentando fragmentos de material da FM. Serra de Santa Helena
730-860	C ₂	Material mosqueado com evidências de processo de gleização, presença de cascalho fino.
860-880	2C	Material com textura mais grosseira, presença de areia e cascalho fino. Descontinuidade.
880-950	3C	Material com textura mais grosseira, presença de areia e cascalho fino Aparecimento de possíveis concreções de manganês e de fragmentos de quartzo.
950-980		Continuação do horizonte 3C, com presença de água a 950cm.

PONTO A3



Local do ponto A3 e a sequência das amostras

Perfil litológico no ponto A3

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0-30	A _p	Solo superficial, argiloso escurecido pela presença de matéria orgânica
30-140	B	Material amarelo-pardo, argiloso, apresentando concreções de ferro.
140-170	2B ₁	Descontinuidade do material. Material mais escuro, vermelho, com possíveis inclusões de carvão.
170-257	2B ₂	Material argiloso, avermelhado, com óxido de ferro associado. A cerca de 237 cm apresentou grãos de quartzo.
257-270	2B ₃	Material mais siltoso.
270-280	2B ₄	Material com granulometria diversificada, bem avermelhado e com menor umidade.
280-330		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
330-340		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
340-395		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
395-420		Continuação do Horizonte 2B ₄ .
420-465		Continuação do Horizonte 2B ₄ . Aparecimento de possíveis concreções de manganês e de fragmentos de quartzo.
560-570		Continuação do Horizonte 2B ₄ Material mais amarelado e presença de areia. Umidade
570-620		Continuação do Horizonte 2B ₄ . Material mais amarelado e bastante arenoso com presença de umidade.
620-900	C	Material amarelo com mosqueado e evidência de processo de gleização; muito argiloso; presença de cascalho fino e areia; umidade.

PONTO A4



Perfil litológico no ponto A4

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0-20	A	Solo superficial, argiloso escurecido pela presença de matéria orgânica
20-130	BA	Material com características do horizonte A, porém mais argiloso.
130-210	B	Material avermelhado mais argiloso.
210-370	B ₂	Material argiloso, avermelhado; presença de cascalho fino e areia grossa.
370-470	2B ₃	Material vermelho-amarelo; apresenta concreções de material ferruginoso; presença de cascalho médio e areia grossa (descontinuidade).
470-600	2B ₄	Material vermelho-amarelo; apresenta concreções de material ferruginoso; presença de cascalho médio e material mosqueado semelhante a material da FM. Serra de Santa Helena.

PONTO B1



Perfil litológico no ponto B1

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 – 25	A	Latossolo vermelho escuro, com estrutura em blocos, escurecido pela presença de matéria orgânica.
25 - 75	2B	Material vermelho amarelado, argiloso, com cascalho médio. Exibe frequente presença de raízes.
75 – 120	2B ₁	Material argiloso amarelado, com frequentes concreções amareladas, possivelmente limoníticas.
120 - 203	2B ₂	Material argiloso, amarelado, com areia e cascalho fino.
203 - 320	2B ₃	Material argiloso, amarelado, com areia e cascalho fino, bem úmido.
320 – 365	B _G	Material gleizado, de cor cinza claro-esverdeado, apresentando níveis de mosqueado.

PONTO B2



Perfil litológico no ponto B2

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0-30	A	Solo superficial, argiloso, escurecido pela presença de matéria orgânica
30-167	B ₁	Material avermelhado, argiloso com alguma umidade.
167-320	B ₂	Material vermelho amarelado, argiloso apresentando-se mais úmido
320-545	B ₃	Material mais vermelho, mais argiloso, saturado, exibindo de material gleizado
545-620	B ₄	Material semelhante ao anterior com algum cascalho e areia fina.

PONTO B3



Localização do ponto B3



Local do ponto B3 e execução da sondagem

Perfil litológico no ponto B3

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 30		Solo superficial, argiloso escurecido pela presença de matéria orgânica
30 - 150	B1	Solo argiloso, vermelho.
150 - 350	B2	Material apresenta alteração na cor, passando a vermelho amarelado
350 - 650	B3	Material apresenta alteração na cor, passando a vermelho
650 - 850	B4	Material ainda vermelho com matriz argilosa, porém mais arenoso e com algum cascalho.
850 - 950	B5	Material vermelho amarelado ainda argiloso, mais compactado apresentando frequentes concreções ferruginosas e seixos rolados de pequeno diâmetro.

PONTO B4



Perfil litológico no ponto B4

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 250	C1	Material gleizado, levemente mosqueado.
250 - 270	C2	Material mais ferrificado, presença de óxidos de ferro.
270 - 440	2C1	Novamente o material do horizonte C1 e material amarelado.
440 - 500	C3	Nível de cascalho, com lama amarelada.
500 - 520	C4	Material avermelhado mais seco.
520 - 585	C5	Material vermelho amarelado, seco.
585 - 615		Rocha alterada amarelada, exibindo estruturas laminares características e frequentes concreções, possivelmente de óxidos de manganês e fragmentos variados.
615 - 630		Rocha alterada, amarelada.

PONTO C1



Perfil litológico no ponto C1

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0-80	A	Solo superficial de várzea, argiloso escurecido pela presença de matéria orgânica
80 - 195	C1	Material argiloso, amarelo, mosqueado com material vermelho
195 - 375	C2	Material gleizado
375 (+)	C3	Material amarelo acinzentado, com areia grossa e cascalho fino

PONTO D1



Localização do ponto D1



Local do ponto D1 e execução da perfuração

Perfil litológico no ponto D1

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 10	A	Solo superficial escurecido pela presença de matéria orgânica. Presença de cascalho
10 - 30	C1	Material vermelho amarelado
30 - 270	C2	Material acinzentado no meio do material vermelho
270 - 325	C3	Material mais compactado, com concreções de óxido de manganês. Presença de estruturas laminares e material mosqueado
325 - 425		Presença de cascalho grosso, material mosqueado e gleizado.
425 (+)		Calcário

PONTO D3



Localização do ponto D3



Local do ponto D3 e detalhe do afloramento de calcário

Perfil litológico no ponto D3

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 30	A	Solo superficial escurecido pela presença de matéria orgânica
30 - 65		Material mais vermelho, com cascalho. Cascalheira a 50 cm
65 - 120		Mesmo material porém mais úmido
120 - 200		Material amarelado com menos cascalho
200 - 410		Material mosqueado (gleizado, amarelo e vermelho). Presença de cascalho
410 (+)		Novamente a cascalheira

PONTO D4



Perfil litológico no ponto D4

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 50	C1	Cascalheira, presença da quartzo leitoso e material amarelo avermelhado, siltoso da formação Serra de Santa Helena
50 - 145	C2	Material amarelo avermelhado da formação Serra de Santa Helena
145 - 165	C3	Descontinuidade
165 - 560	C4	Material siltoso, um pouco mais úmido, friável. Presença de quartzo leitoso

PONTO E1



Perfil litológico no ponto E1

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 30	A	Solo superficial marrom médio a claro, pulverulento, com presença de matéria orgânica, em camada pouco espessa (alguns centímetros). Não se nota a cor característica, causada por presença mais expressiva de matéria orgânica.
30 - 760	B	Material marrom avermelhado, argiloso, mas pouco pegajoso. Presença de concreções ferrosas escuras com dimensões de pequenos grãos, às vezes, apresentando-se magnéticas e às vezes, apresentando-se amarelas quando quebradas. Observam-se fragmentos negros, pequeninos, possivelmente de carvão, às vezes, formando níveis milimétricos distribuídos pela massa do material. O material apresenta pouca umidade. Não apresenta a pegajosidade característica de material mais argiloso.
760 - 790		Presença de fragmentos de quartzo leitoso e cristalino em tamanhos variados, angulosos e arredondados
790 - 810		Material menos argiloso. Raros fragmentos de quartzo
810 - 1040		Material de transição (não foi descrito)

PONTO E5



Localização do ponto E5



Local do ponto E5 e detalhes da cascalheira

Perfil litológico no ponto E5

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 – 30	A	Solo superficial marrom médio a claro, presença de cascalho fino a grosso. Camada orgânica pouco espessa. A coloração característica, causada por presença de matéria orgânica é tênue.
30 – 100		Material marrom avermelhado, pulverulento, com cascalho de dimensões variadas, arredondados e angulosos. Presença de quartzo leitoso e cristalino. A camada de cascalho apresenta-se descontínua, mergulhando abruptamente e reaparecendo à diante. Mas é dominante em todo o corte. O material apresenta-se bastante poroso e intensamente penetrado por raízes de gramíneas da cobertura. Completa ausência de umidade.

PONTO F1 e F2



Localização dos pontos F1 e F2



Local do ponto F2 e detalhe da medida no nível d'água

Perfil litológico no ponto F1

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 30	A	Solo superficial com presença de matéria orgânica
30 - 208	B1	Solo argiloso, muito vermelho
208 - 450	B2	Material argiloso, avermelhado com fragmentos de carvão (?) e mais úmido
450 - 470	B3	Material argiloso, avermelhado, mais úmido. Presença de cascalho
470 - 650	B4	Material argiloso, avermelhado, saturado, com cascalho frequente e areia fina

Perfil litológico no ponto F2

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 30	A	Solo superficial com presença de matéria orgânica
30 - 170	B1	Material marrom avermelhado, argiloso
170 - 230	B2	Material argiloso avermelhado, mais úmido
230 - 450	B3	Material vermelho amarelado, saturado, com presença de cascalho e apresentado possíveis concreções de óxidos de manganês (?)
450 - 580	B4	Material mais vermelho, argiloso, mais seco e com presença de cascalho, apresentado possíveis concreções de óxidos de manganês (?) e fragmentos de carvão (?).

PONTO F3



Localização do ponto F3



Local do ponto F3 e detalhe de uma amostra coletada na foto à direita

Perfil litológico no ponto F3

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 30	A	Solo superficial com presença de matéria orgânica
30 - 110	B1	Material amarelado, argiloso
110 - 270	B2	Material marrom avermelhado, mais úmido, argiloso.
270 - 430	B3	Material marrom avermelhado, mais úmido, argiloso.
430 - 560	B4	Material mais avermelhado, arenoso, saturado.

PONTO F4



Perfil litológico no ponto F4

Z (cm)	H	Descrição do material geológico
0 - 30	A	Solo superficial com presença de matéria orgânica
30 - 90	B1	Material vermelho, seco.
90 - 132		Cascalheira.
132-150	B2	Material vermelho amarelado. Apresenta-se com menos cascalho
150 - 310	B3	Material acinzentado (glei) , apresenta-se mosqueado.
310 - 355	B4	Material mosqueado (glei) , muito seco e compacto.

ANEXO III

Resultados obtidos das medidas de infiltração de água no solo utilizando o permeâmetro de Gueff (Trabalhos de campo realizados de janeiro a março de 2010).

POÇO DE INFILTRAÇÃO – A1

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração – COLUNA DUPLA

Poço de infiltração A1: Coordenadas UTM 586667 E – 7846145 N

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	-	21,7	-	-	0	6	28,9	-	-
2	6	6	22,5	0,8	0,13	6	6	29,9	1,0	0,17
3	12	6	23,3	0,8	0,13	12	6	30,5	0,6	0,10
4	18	6	24,0	0,7	0,11	18	6	31,2	0,7	0,12
5	24	6	24,7	0,7	0,11	24	6	31,8	0,6	0,10
6	30	6	25,4	0,7	0,11	30	6	32,2	0,4	0,07
7	36	6	26,0	0,6	0,1	36	6	32,9	0,7	0,12
8	42	6	26,5	0,5	0,08	42	6	33,6	0,7	0,12
9	48	6	27,0	0,5	0,08	8	6	34,0	0,4	0,07
10						54	6	34,1	0,1	0,02
11						60	6	34,5	0,4	0,07
12						66	6	35,5	1,0	0,17
13						72	6	36,0	0,5	0,08
14						78	6	36,6	0,6	0,10
15						84	6	37,2	0,6	0,10

POÇO DE INFILTRAÇÃO – A2

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA INTERNA

Poço de infiltração A2: Coordenadas UTM 587252 E – 7846185 N

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	-	12.3	-	-	0	-	14.5	-	-
2	3	3	14.2	1.9	0.63	8	8	15.8	1.3	0.16
3	6	3	16.1	1.9	0.63	16	8	22.8	7.0	0.88
4	9	3	17	0.9	0.30	24	8	32.3	9.5	1.19
5	12	3	18.4	1.4	0.47	32	8	42	9.7	1.21
6	15	3	19.8	1.4	0.47	40	8	52.4	10.4	1.30
7	18	3	21	1.2	0.40	48	8	62.7	10.3	1.29
8	21	3	22.1	1.1	0.37	56	8	73	10.3	1.29
9	24	3	23.8	1.7	0.57					
10	27	3	25	1.2	0.40					
11	30	3	26.7	1.7	0.57					
12	33	3	28.7	2.0	0.67					
13	36	3	30.4	1.7	0.57					
14	39	3	31.2	0.8	0.27					
15	42	3	32.9	1.7	0.57					

Continuação – Poço de infiltração A2

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
16	45	3	34.1	1.2	0.40					
17	48	3	35.1	1.0	0.33					
18	51	3	36.1	1.0	0.33					
19	54	3	37.6	1.5	0.50					
20	57	3	39.1	1.5	0.50					
21	60	3	40.3	1.2	0.40					
22	63	3	41.2	0.9	0.30					
23	66	3	42.5	1.3	0.43					
24	69	3	43.7	1.2	0.40					
25	72	3	44.7	1.0	0.33					
26	75	3	46.5	1.8	0.60					
27	78	3	48.0	1.5	0.50					
28	81	3	49.5	1.5	0.50					
29	84	3	50.8	1.3	0.43					

POÇO DE INFILTRAÇÃO – A3

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA DUPLA

Poço de infiltração A3: Coordenadas UTM 587036 E – 7846102 N

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0		19.0			0		31.8		
2	6	6	20.0	1.0	0.17	6	6	36.7	4.9	0.82
3	12	6	21.2	1.2	0.20	12	6	39.7	3.0	0.50
4	18	6	22.1	0.9	0.15	18	6	41.7	2.0	0.33
5	24	6	22.7	0.6	0.10	24	6	43.1	1.4	0.23
6	30	6	23.4	0.7	0.12	30	6	44.8	1.7	0.28
7	36	6	24.7	1.3	0.22	36	6	49.4	4.6	0.77
8	42	6	25.7	1.0	0.17	42	6	57.7	8.3	1.38
9	48	6	26.5	0.8	0.13	48	6	64.4	6.7	1.12
10	54	6	27.2	0.7	0.12	54	6	69.5	5.1	0.85
11	60	6	27.9	0.7	0.12	60	6	74.7	5.2	0.87
12	66	6	28.6	0.7	0.12	Esgotou a água do reservatório				

POÇO DE INFILTRAÇÃO – A4

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA DUPLA										
Poço de infiltração A4: Coordenadas UTM 586179 E – 7846318 N										
Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	5	0.6	-	-	0	5	6	-	-
2	5	5	2.5	1.9	0.38	5	5	8.6	2.6	0.52
3	10	5	4.6	2.1	0.42	10	5	11.7	3.1	0.62
4	15	5	6.5	1.9	0.38	15	5	14.4	2.7	0.54
5	20	5	8.5	2.0	0.40	20	5	17.6	3.2	0.64
6	25	5	10.4	1.9	0.38	25	5	20.6	3.0	0.60
7	30	5	12.2	1.8	0.36	30	5	23.5	2.9	0.58
8	35	5	14.3	2.1	0.42	35	5	26.4	2.9	0.58
9	40	5	16.1	1.8	0.36	40	5	29.3	2.9	0.58
10	45	5	18.1	2.0	0.40	45	5	32.2	2.9	0.58
11	50	5	19.9	1.8	0.36					
12	55	5	21.9	2.0	0.40					
13	60	5	24.1	2.2	0.44					
14	65	5	26.1	2.0	0.40					
15	70	5	28.1	2.0	0.40					
16	75	5	30.1	2.0	0.40					

POÇO DE INFILTRAÇÃO – B1

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA DUPLA										
Poço de infiltração B1: Coordenadas UTM 587075 E – 7848219 N										
Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	2	3.6			0	6	28.90		
2	2	2	4.2	0.6	0.30	6	6	29.90	1.0	0.17
3	4	2	5.0	0.8	0.40	12	6	30.50	0.6	0.10
4	6	2	5.9	0.9	0.45	18	6	31.20	0.7	0.12
5	8	2	6.4	0.5	0.25	24	6	31.80	0.6	0.10
6	10	2	7.0	0.6	0.30	30	6	32.20	0.4	0.07
7	12	2	7.5	0.5	0.25	36	6	32.90	0.7	0.12
8	14	2	8.1	0.6	0.30	42	6	33.60	0.7	0.12
9	16	2	8.6	0.5	0.25	8	6	34.00	0.4	0.07
10	18	2	9.2	0.6	0.30	54	6	34.10	0.1	0.02
11	20	2	9.7	0.5	0.25	60	6	34.50	0.4	0.07

Continuação – Poço de infiltração B1

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
12						66	6	35.50	1.0	0.17
13						72	6	36.00	0.5	0.08
14						78	6	36.60	0.6	0.10
15						84	6	37.20	0.6	0.10

POÇO DE INFILTRAÇÃO – B2

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA INTERNA

Poço de infiltração B2: Coordenadas UTM 587243E – 7848007 N

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	3	5.0	-	-	0	3	38.5	-	-
2	3	3	5.2	0.2	0.067	3	3	39.5	1	0.33
3	6	3	5.5	0.3	0.100	6	3	39.7	0.2	0.07
4	9	3	5.8	0.3	0.100	9	3	40.1	0.4	0.13
5	12	3	5.8	0	0.000	12	3	40.4	0.3	0.10
6	15	3	6.2	0.4	0.133	15	3	40.7	0.3	0.10
7	18	3	6.5	0.3	0.100	18	3	40.9	0.2	0.07
8	21	3	6.8	0.3	0.100	21	3	41.1	0.2	0.07
9	24	3	6.9	0.1	0.033	24	3	42.0	0.9	0.30
10	27	3	7.2	0.3	0.100	27	3	42.2	0.2	0.07
11	30	3	7.5	0.3	0.100	30	3	42.2	0	0.00
12	33	3	7.6	0.1	0.033	33	3	43.2	1	0.33
13	36	3	7.7	0.1	0.033	36	3	43.4	0.2	0.07
14	39	3	7.7			39	3	43.6	0.2	0.07
15	42					42	3	43.8	0.2	0.07

POÇO DE INFILTRAÇÃO – B3

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA INTERNA

Poço de infiltração B3: Coordenadas UTM 585914 E – 7849118 N

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	2	12	-	-					
2	2	2	13.4	1.4	0.70					
3	4	2	14.9	1.5	0.75					

Continuação – Poço de infiltração B3

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
4	6	2	16.3	1.4	0.70	A água infiltrou totalmente ao aumentar a carga				
5	8	2	17.8	1.5	0.75					
6	10	2	19.5	1.7	0.85					
7	12	2	20.8	1.3	0.65					
8	14	2	22.2	1.4	0.70					
9	16	2	23.8	1.6	0.80					
10	18	2	25.2	1.4	0.70					
11	20	2	26.7	1.5	0.75					
12	22	2	28.3	1.6	0.80					
13	24	2	29.7	1.4	0.70					
14	26	2	31.3	1.6	0.80					
15	28	2	32.7	1.4	0.70					
16	30	2	34.2	1.5	0.75					

POÇO DE INFILTRAÇÃO – B4

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA DUPLA

Poço de infiltração B4: Coordenadas UTM 585914 E – 7849118 N

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	3	5.0	-	-	0	3	22.0	-	
2	3	3	5.8	0.8	0.27	3	3	24.7	2.7	0.90
3	6	3	6.7	0.9	0.30	6	3	27.6	2.9	0.97
4	9	3	7.6	0.9	0.30	9	3	30.7	3.1	1.03
5	12	3	8.6	1.0	0.33	12	3	35.4	4.7	1.57
6	15	3	9.5	0.9	0.30	15	3	36.9	1.5	0.50
7	18	3	10.5	1.0	0.33	18	3	40.0	3.1	1.03
8	21	3	11.5	1.0	0.33	21	3	43.4	3.4	1.13
9	24	3	12.5	1.0	0.33	24	3	46.5	3.1	1.03
10						27	3	49.7	3.2	1.07
11						30	3	53	3.3	1.10
12						33	3	56.3	3.3	1.10
13						36	3	59.6	3.3	1.10
14						39	3	62.9	3.3	1.10

POÇO DE INFILTRAÇÃO – D4

Medidas de rebaixamento do nível d'água e taxas de infiltração- COLUNA INTERNA

Poço de infiltração D4: Coordenadas UTM 587171 / 7850406

Medida	Medições realizadas com carga de 5 cm					Medições realizadas com carga de 10 cm				
	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$	t(min)	Δt (min)	L (cm)	ΔL (cm)	$\Delta L/\Delta t$
1	0	-	10.3	-	-	0	-	14.9	-	-
2	4	4	10.9	0.6	0.15	4	4	16.1	1.2	0.30
3	8	4	12.5	1.6	0.40	8	4	16.7	0.6	0.15
4	12	4	13.6	1.1	0.28	12	4	17.0	0.3	0.08
5	16	4	14.7	1.1	0.28	16	4	17.5	0.5	0.13
6	20	4	16.1	1.4	0.35	20	4	18.5	1.0	0.25
7	24	4	17.0	0.9	0.23	24	4	19.5	1.0	0.25
8	28	4	18.0	1.0	0.25	28	4	20.1	0.6	0.15
9	32	4	19.0	1.0	0.25	32	4	20.5	0.4	0.10
10	36	4	19.8	0.8	0.20	36	4	21.0	0.5	0.13
11	40	4	20.4	0.6	0.15	40	4	21.5	0.5	0.13
12	44	4	21.8	1.4	0.35	44	4	22.0	0.5	0.13
13	48	4	23.2	1.4	0.35					
14	52	4	24.7	1.5	0.38					
15	56	4	26.1	1.4	0.35					

ANEXO IV

FIGURA 8.11: Localização das áreas de cultivo agrícola, linhas de fluxo, pontos de monitoramento, geologia, drenagens e lagoas no CNPMS.

ANEXO V

Dados construtivos e perfis litológicos dos poços de monitoramento hidrogeológico e da qualidade da água subterrânea no CNPMS.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7183/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC - 01

NE (m): 29,18

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA INÍCIO: 24/02/2010

DATA TÉRMINO: 27/02/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO

Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		24,50	42,50	FILTRO PVC GEOMECANICO

REVESTIMENTO

Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	24,50	TUBO PVC GEOMECANICO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	42,50	42,50

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	22,00	Cimentação e Laje de Proteção
22,00	42,50	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	42,50	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,50

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
27/2/2010	42,50

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

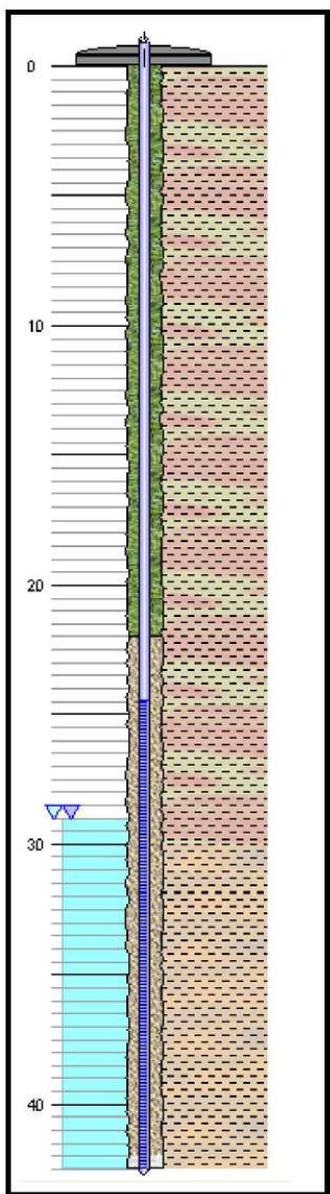
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 42,50

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC- 01

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	42,50	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	30,00	Material argiloso de coloração avermelhado.
30,00	42,50	Material argiloso de coloração bege, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7185/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC-02

NE (m): 16,85 ND (m): Período de Perfuração: DATA INÍCIO: 24/03/2010

DATA TÉRMINO: 26/03/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO

Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		12,00	30,00	FILTRO PVC GEOMECANICO

REVESTIMENTO

Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	12,00	TUBO PVC GEOMECANICO

TUBULAO

Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	30,00	30,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	10,50	Cimentação e Laje de Proteção
10,50	30,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	30,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,62

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
26/3/2010	30,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

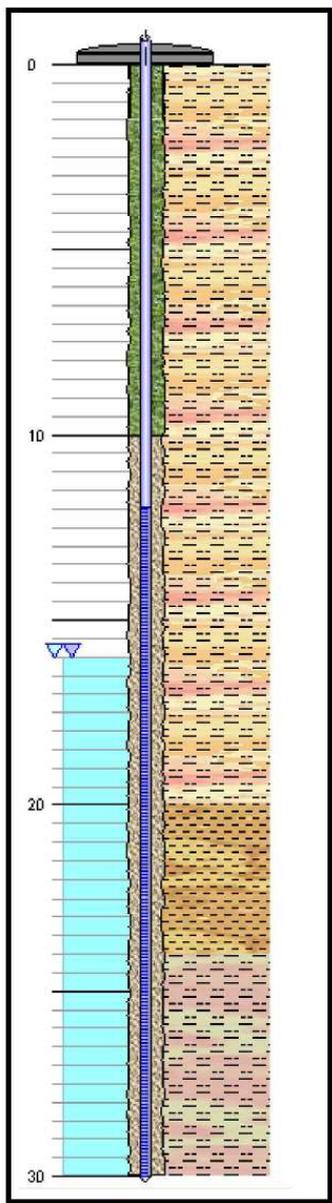
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGE0 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 30,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC-02

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	30,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	20,00	Material argilo-siltoso de coloração alaranjado.
20,00	24,00	Material argiloso de coloração acastanhado.
24,00	30,00	Material argilo-siltoso de coloração avermelhado.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7168/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC-03

NE (m): 11,81

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO:18.02.2010

DATA TERMINO:20.02.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		9,00	25,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	9,00	TUBO PVC GEOMECAÂNICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	25,00	25,00	

ESPAÇO ANULAR		
De (m)	Até (m)	Material
0,00	6,50	Cimentação e Laje de Proteção
6,50	25,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA	
Profundidade (m)	

FORMAÇÃO GEOLÓGICA		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	25,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO		
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
6	152,40	0,56

PROFUNDIDADE ÚTIL	
Data	Profundidade (m)
20/2/2010	25,00

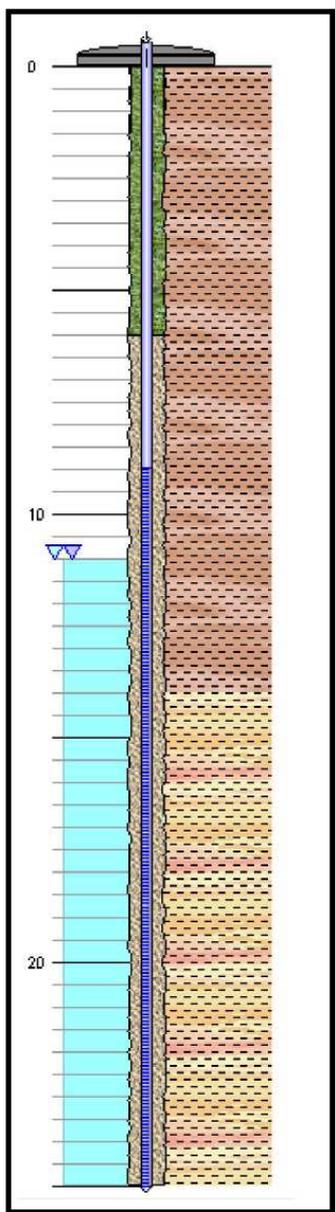
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS			
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA- MG:9589-D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/COPASA	Locador: EMBRAPA/COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 25,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC-03

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	25,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	14,00	Material argiloso de coloração marrom, com granulos de quartzo arredondados e rocha alterada.
14,00	25,00	Material argiloso de coloração bege amarelado.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7182/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC-04

NE (m): 32,43

ND (m):

Período de Perfuração: DATA INÍCIO: 29/03/2010
DATA TÉRMINO: 01/04/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		27,50	39,50	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	27,50	TUBO PVC GEOMECAÂNICO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	40,00	40,00	

ESPAÇO ANULAR		
De (m)	Até (m)	Material
0,00	25,00	Cimentação e Laje de Proteção
25,00	40,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA	
Profundidade (m)	

FORMAÇÃO GEOLÓGICA		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	39,80	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO		
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,64

PROFUNDIDADE ÚTIL	
Data	Profundidade (m)
1/4/2010	40,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS			
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SÁLLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA	Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos

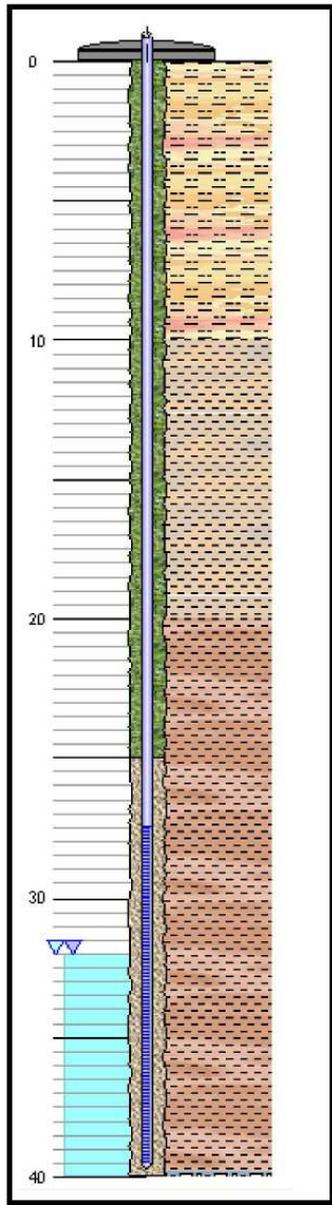
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG

Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844

Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 40,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC-04

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	39,80	MANTO DE ALTERAÇÃO
39,80	40,00	Grupo Bambui

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	10,00	Material argilo-siltoso de coloração alaranjado, com seixos de quartzo.
10,00	20,00	Material argiloso de coloração bege, com fragmentos de rocha alterada.
20,00	39,80	Material argiloso de coloração amarronzado, com fragmentos de rocha alterada.
39,80	40,00	Calcário alterado de coloração azulado, clivagem placóide, fragmentação fina a grossa, reage ao Hcl.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7184/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: EMBRAPA - PC-05

NE (m): 13,59

ND (m):

Período de Perfuração: DATA INÍCIO: 05/04/2010

DATA INÍCIO: 05/04/2010

DATA TÉRMINO: 08/04/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		10,00	30,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	10,00	TUBO PVC GEOMECÂNICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	52,00	52,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	7,50	Cimentação e Laje de Proteção
7,50	52,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	50,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,66

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
8/4/2010	52,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos

Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG

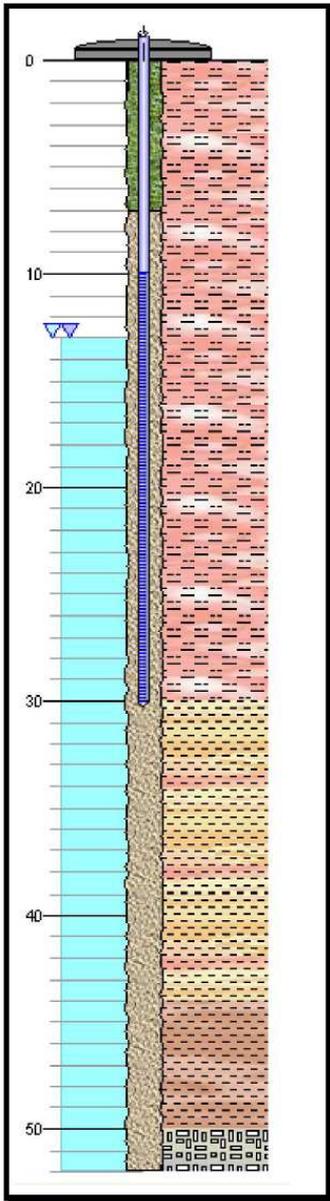
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844

Email : hpnet@hidropocos.com.br

www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLOGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 52,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: EMBRAPA - PC-05

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	50,00	MANTO DE ALTERAÇÃO
50,00	52,00	Grupo Bambuí

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	30,00	Material argilo-siltoso de coloração avermelhado.
30,00	44,00	Material argiloso de coloração alaranjado.
44,00	50,00	Material argiloso de coloração amarronzado, com fragmentos de rocha alterada.
50,00	52,00	Calcário dolomítico levemente alterado, de coloração acinzentado, fragmentação fina a pulverizada, reage fortemente ao Hcl.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7172/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC- 06

NE (m): 2,14

ND (m):

Período de Perfuração: DATA DE INÍCIO: 20.01.2010

DATA TERMINO: 30.01.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		2,00	6,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	2,00	TUBO PVC GEOMECAÂNICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	6,00	6,00	

ESPAÇO ANULAR		
De (m)	Até (m)	Material
0,00	1,50	Cimentação e Laje de Proteção
1,50	6,00	Pre-filtro

FORMAÇÃO GEOLÓGICA		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

PROFUNDIDADE ÚTIL	
Data	Profundidade (m)
30/1/2010	6,00

ENTRADA D'ÁGUA	
Profundidade (m)	

BOCA DO TUBO		
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,54

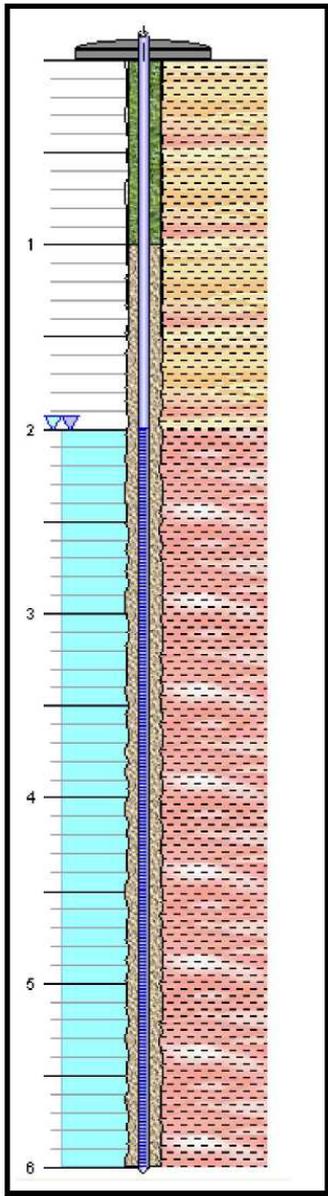
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS			
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA- MG:9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/COPASA	Locador: EMBRAPA/ COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet @ hidropocos. com. br
www. hidropocos. com. br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Poço de Monitoramento Ambiental

Profund. (m): 6,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC- 06

Município: Prudente de Moraes

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	2,00	Material argiloso de coloração alaranjada, com seixos de quartzo.
2,00	6,00	Material argiloso de coloração avermelhado, com seixos de quartzo..



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7186/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC - 07

NE (m): 4,53

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA INÍCIO: 11/03/2010

DATA TÉRMINO: 23/03/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO

Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		31,70	37,70	FILTRO PVC GEOMECANICO

REVESTIMENTO

Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	31,70	TUBO PVC GEOMECANICO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
10	254,00	0,00	19,00	38,00
8	203,20	19,00	30,00	38,00
6	152,40	30,00	38,00	38,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	30,30	Cimentação e Laje de Proteção
30,30	38,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	12,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,59

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
23/3/2010	38,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

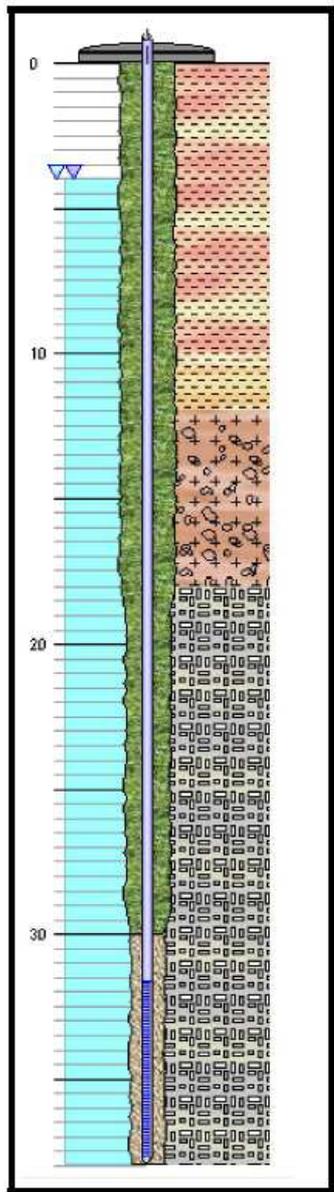
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo, 395-Camargos
Cep: 30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone / Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLOGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 38,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC - 07

Município: Prudente de Moraes

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	12,00	MANTO DE ALTERAÇÃO
12,00	38,00	ROCHA ALTERADA

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	10,00	Material argiloso de coloração avermelhado, com seixos de quartzo.
10,00	12,00	Material argiloso de coloração bege amarelado, com seixos de quartzo e fragmentos de rocha alterada.
12,00	18,00	Rocha alterada de coloração amarronzada, fragmentação média a grossa.
18,00	38,00	Calcário dolomítico de coloração cinza amarelado, reage levemente ao Hcl, fragmentação média a grossa. leve alteração.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7187/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC - 08

NE (m): 1,02

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA INÍCIO: 13/04/2010

DATA TÉRMINO: 14/04/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		2,00	8,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	2,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	8,00	8,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	1,00	Cimentação e Laje de Proteção
1,00	8,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	8,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,85

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
14/4/2010	8,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

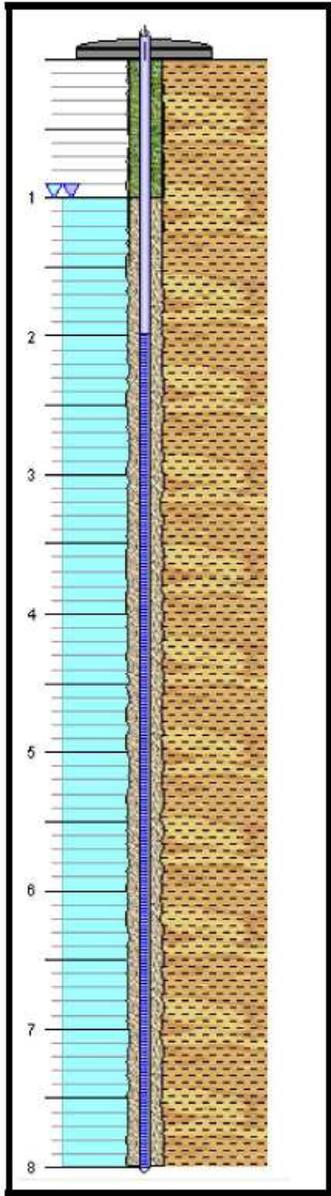
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração: Rotopneumatico
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 8,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC - 08

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	8,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	8,00	Material argiloso de coloração acastanhado, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7176/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC- 09

NE (m): 1,27 ND (m):

Período de Perfuração: DATA DE INICIO:26.01.2010
DATA TERMINO:26.01.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		2,00	6,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	2,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	6,00	6,00	

ESPAÇO ANULAR		
De (m)	Até (m)	Material
0,00	1,00	Cimentação e Laje de Proteção
1,00	6,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA	
Profundidade (m)	

FORMAÇÃO GEOLÓGICA		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO		
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,48

PROFUNDIDADE ÚTIL	
Data	Profundidade (m)
26/1/2010	6,00

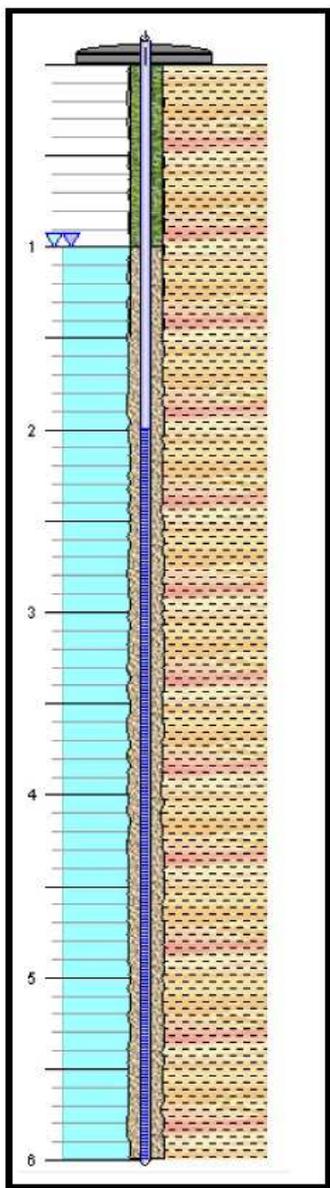
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS			
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG-9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLÉS	Autor do Projeto: EMBRAPA/COPASA	Locador: EMBRAPA/COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLOGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 6,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC- 09

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	6,00	Material argiloso de coloração bege, com seixos de quartzo.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7177/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC- 10

NE (m): 4,49

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO:02.02.2010

DATA TERMINO:02.02.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		3,00	9,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	3,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	9,00	9,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	2,00	Cimentação e Laje de Proteção
2,00	9,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	9,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,58

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
------	------------------

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

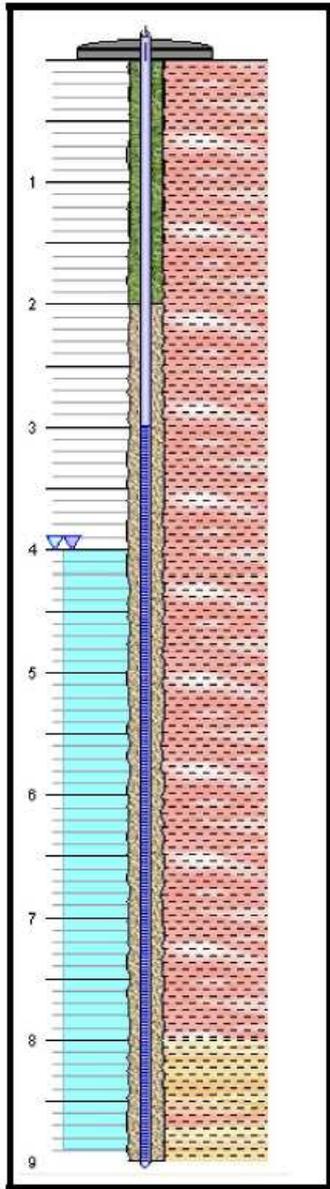
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA- MG:9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SÁLLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/COPASA
		Locador: EMBRAPA/ COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGE0 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLOGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 9,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC- 10

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	9,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	8,00	Material argilo-siltoso de coloração avermelhada com fragmentos de rocha alterada.
8,00	9,00	Material argiloso de coloração acastanhado, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7175/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC - 11

NE (m): 3,63

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA INÍCIO: 03/02/2010

DATA TÉRMINO: 03/02/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		3,00	9,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	3,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	9,00	9,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	2,50	Cimentação e Laje de Proteção
2,50	9,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	9,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,57

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
3/2/2010	9,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

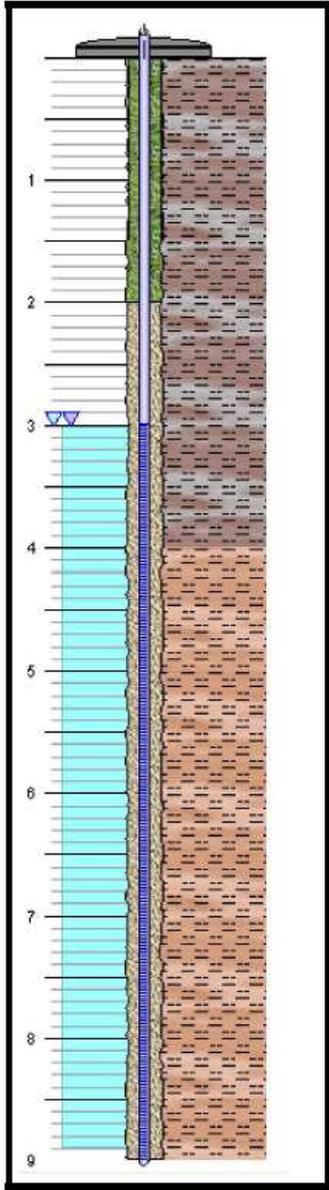
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SÁLLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 9,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC - 11

Município: Prudente de Moraes

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	9,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	4,00	Material argilo-siltoso de coloração marrom avermelhado, com fragmentos de rocha alterada.
4,00	9,00	Material argilo-siltoso de coloração amarronzado, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7188/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC-12

DATA INÍCIO: 14/04/2010

NE (m): 15,89

ND (m):

Período de Perfuração: DATA TÉRMINO: 15/04/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		11,00	25,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	11,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,30	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	25,00	25,00	
ESPAÇO ANULAR			ENTRADA D'ÁGUA		
De (m)	Até (m)	Material	Profundidade (m)		
0,00	5,50	Cimentação e Laje de Proteção			
5,50	25,00	Pre-filtro			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA			BOCA DO TUBO		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
0,00	25,00	MANTO DE ALTERAÇÃO	2	50,80	0,56
PROFUNDIDADE ÚTIL					
Data	Profundidade (m)				
15/4/2010	25,00				

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

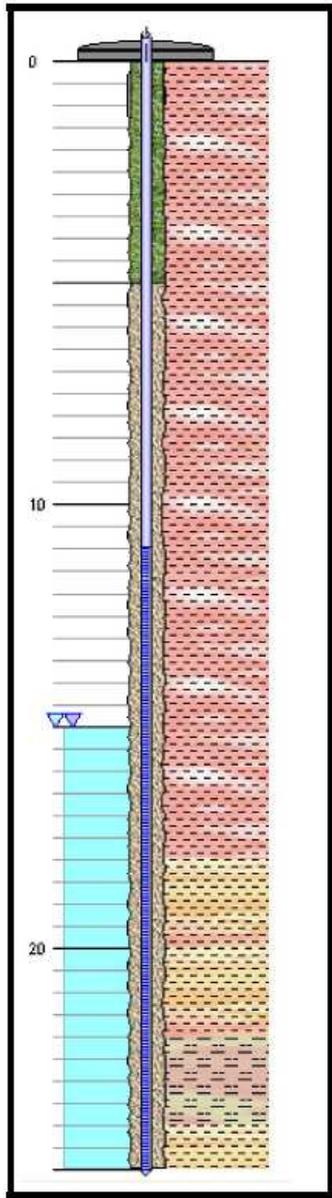
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589/D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SÁLLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 25,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC-12

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	25,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	18,00	Material argiloso de coloração vermelho escuro
18,00	22,00	Material argiloso de coloração bege amarelado, com fragmentos de rocha alterada.
22,00	24,00	Material argilo-siltoso de coloração avermelhado.
24,00	25,00	Material argiloso de coloração bege amarelado, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7189/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC-13

NE (m): 1,74

ND (m):

Período de Perfuração: DATA INÍCIO: 16/04/2010
DATA TÉRMINO: 17/04/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		2,00	10,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	2,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,30	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	10,00	10,00	

ESPAÇO ANULAR		
De (m)	Até (m)	Material
0,00	1,50	Cimentação e Laje de Proteção
1,50	10,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA	
Profundidade (m)	

FORMAÇÃO GEOLÓGICA		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	10,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO		
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,56

PROFUNDIDADE ÚTIL	
Data	Profundidade (m)
17/4/2010	10,00

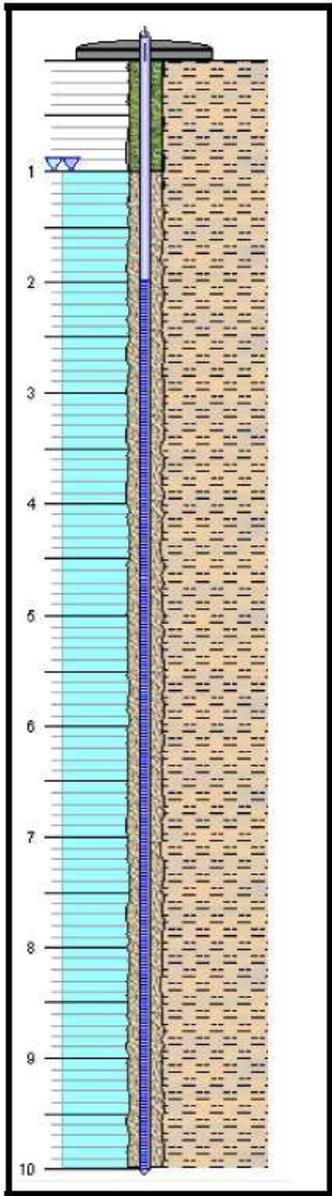
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS			
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA	Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 10,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa PC-13

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	10,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	10,00	Material argilo-siltoso de coloração bege, com seixos de quartzo.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7173/10 Município: Prudente de Morais Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude: Longitude: Localidade: Embrapa PC - 14

NE (m): 10,55 ND (m): Período de Perfuração: DATA DE INICIO:15.02.2010
DATA TERMINO:16.02.2010

Vazão Estabil. (m³/h): _____

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		7,00	15,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	7,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	15,00	15,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	4,50	Cimentação e Laje de Proteção
4,50	15,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	15,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,47

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
16/2/2010	15,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

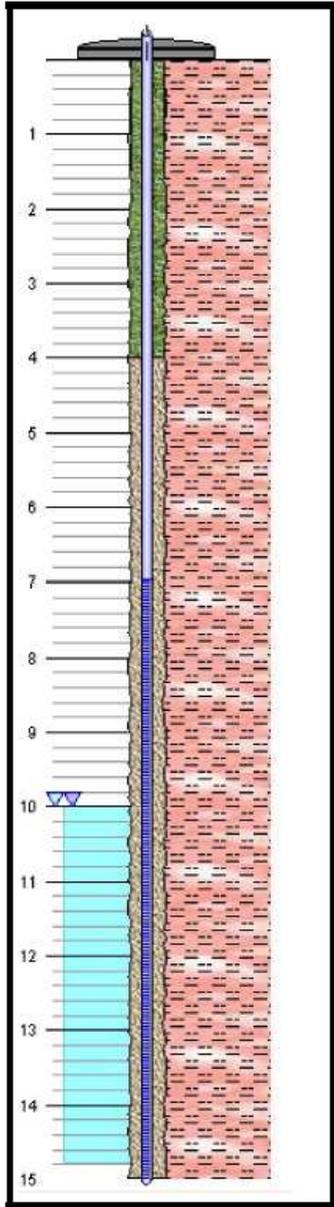
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração:
CREA Resp. Perf.: CREA- MG-9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/ COPASA	Locador: EMBRAPA/COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 15,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC - 14

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	15,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	15,00	Material argilo-siltoso de coloração avermelhada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7167/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC - 15

NE (m): 8,69

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO: 17.02.2010

DATA TERMINO: 18.02.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		7,00	15,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	7,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	15,00	15,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	4,50	Cimentação e Laje de Proteção
4,50	15,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	15,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
6	152,40	0,50

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
18/2/2010	15,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

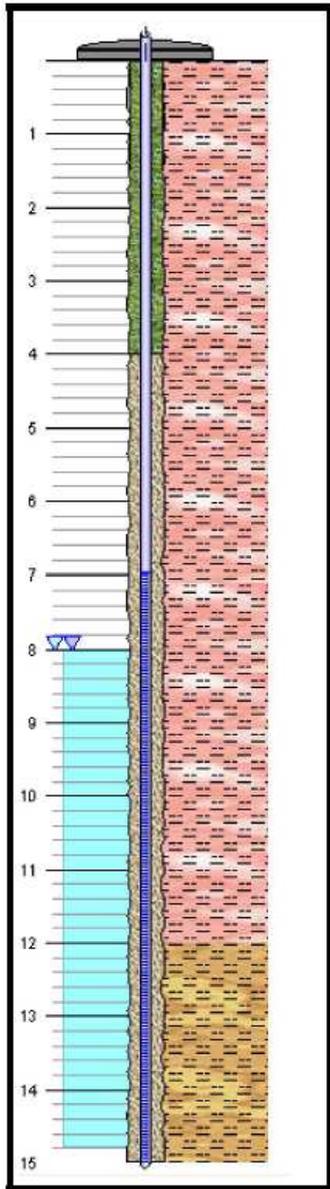
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG:9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo, 395 - Camargos
Cep: 30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone / Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 15,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC - 15

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	15,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	12,00	Material argilo-siltoso coloração avermelhada.
12,00	15,00	Material argilos coloração bege, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7174/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC - 16

NE (m): 0,79

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA INÍCIO: 27/01/2010

DATA TÉRMINO: 27/01/2010

Vazão Estabil. (m³/h): 0,000

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		2,00	6,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	2,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	6,00	6,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	1,50	Cimentação e Laje de Proteção
1,50	6,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,49

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
27/1/2010	6,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

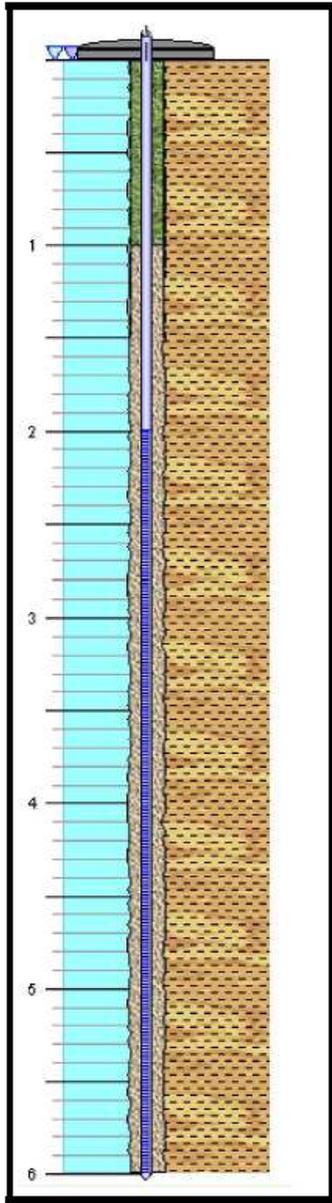
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SÁLLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLOGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 6,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC - 16

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLOGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	6,00	Material argiloso de coloração acastanhado, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7181/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC - 17

NE (m): 22,38

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO: 04.02.2010

DATA TERMINO: 08.02.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		18,00	30,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	18,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	30,00	30,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	15,50	Cimentação e Laje de Proteção
15,50	30,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	30,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,58

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
8/2/2010	30,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

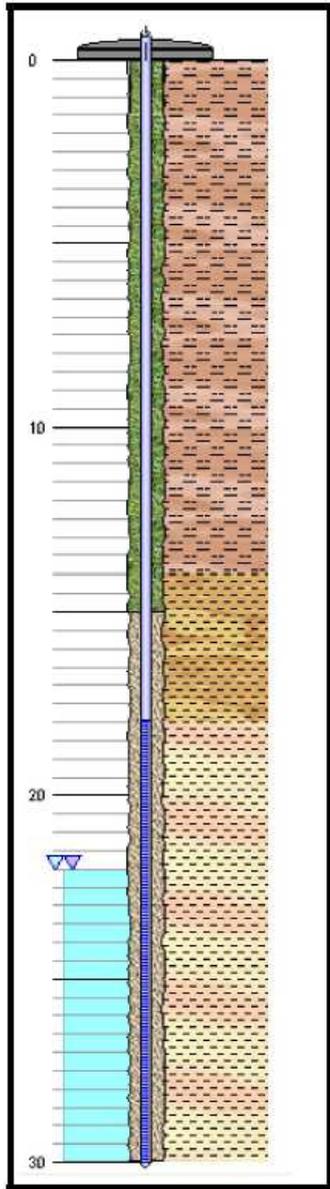
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA- MG:9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/ COPASA
		Locador: EMBRAPA/ COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet @ hidropocos. com. br
www. hidropocos. com. br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLOGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 30,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC - 17

Município: Prudente de Moraes

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	30,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	14,00	Material argilo-siltoso de coloração marrom- avermelhado.
14,00	18,00	Material argiloso de coloração acastanhado.
18,00	30,00	Material argiloso de coloração bege amarelado.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7169/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC- 18

NE (m): 23,53

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO: 09.02.2010

DATA TERMINO: 13.02.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		22,00	40,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	22,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	40,00	40,00	
ESPAÇO ANULAR			ENTRADA D'ÁGUA		
De (m)	Até (m)	Material	Profundidade (m)		
0,00	19,50	Cimentação e Laje de Proteção			
19,50	40,00	Pre-filtro			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA			BOCA DO TUBO		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
0,00	40,00	MANTO DE ALTERAÇÃO	6	152,40	0,61
PROFUNDIDADE ÚTIL					
Data	Profundidade (m)				
13/2/2010	40,00				

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

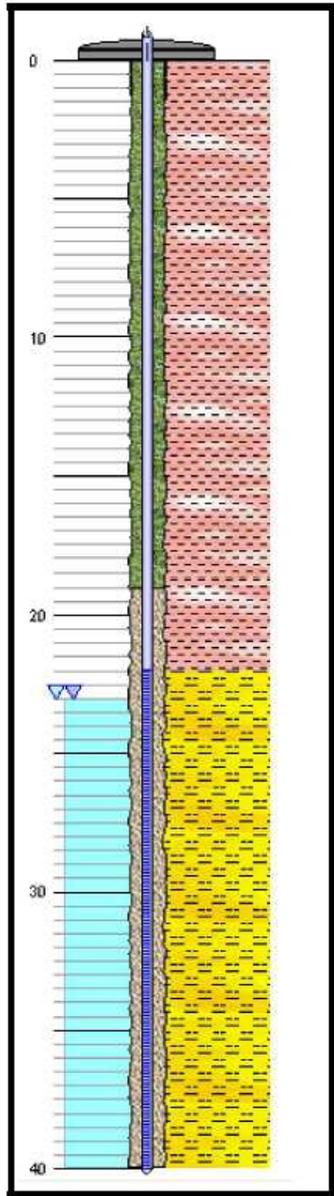
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração:
CREA Resp. Perf.: CREA- MG: 9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/ COPASA
		Locador: EMBRAPA/COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 40,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC- 18

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	40,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	22,00	ARGILA
22,00	40,00	ARGILA SILTOSA



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7171/2010

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Piezometro

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa - PC-19

NE (m): 9,66

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA INÍCIO: 11/01/2010

DATA TÉRMINO: 13/01/2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		8,00	20,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	8,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	20,00	20,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	6,00	Cimentação e Laje de Proteção
6,00	20,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	20,00	Cobertura Sedimentar

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,48

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
13/1/2010	20,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

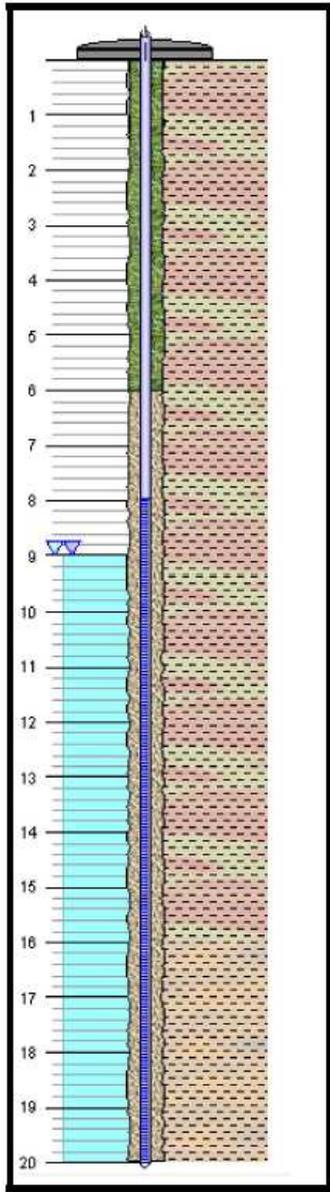
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA-MG 9589-D	Responsável pela Perfuração: ENGº PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA / COPASA
		Locador: EMBRAPA / COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Operando

Profund. (m): 20,00

Objetivo: Monitoramento Piezométrico

Localização: Embrapa - PC-19

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	20,00	Cobertura Sedimentar

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	16,00	Material argiloso de coloração avermelhado, semifriável.
16,00	20,00	Material argiloso de coloração bege.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7180/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC- 20

NE (m): 14,61

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO: 13.01.2010

DATA TERMINO: 18.01.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		10,00	30,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	10,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	30,00	30,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	7,00	Cimentação e Laje de Proteção
7,00	30,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)
30,00

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	30,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,49

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
18/1/2010	30,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

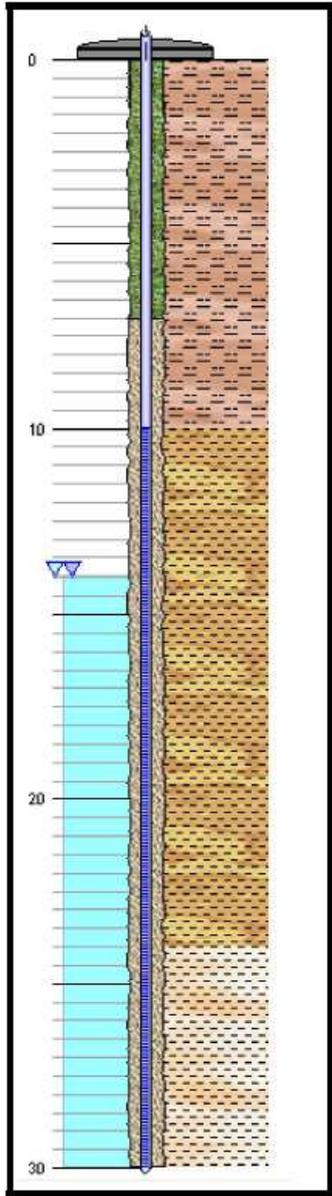
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA- MG:9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/ COPASA	Locador: EMBRAPA/ COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 30,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC- 20

Município: Prudente de Moraes

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	30,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	10,00	Material argilo-siltoso de coloração marrom.
10,00	24,00	Material argilo-siltoso de coloração acastanhada.
24,00	30,00	Material argilo-siltoso de coloração bege.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7170/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC- 21

NE (m): 9,28

ND (m):

Período de Perfuração: DATA DE INICIO: 19.01.2010

DATA TERMINO: 21.01.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		8,00	20,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	8,00	PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)	
6	152,40	0,00	20,00	20,00	

ESPAÇO ANULAR		
De (m)	Até (m)	Material
0,00	6,00	Cimentação e Laje de Proteção
6,00	20,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA	
Profundidade (m)	

FORMAÇÃO GEOLÓGICA		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	20,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO		
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
6	152,40	0,56

PROFUNDIDADE ÚTIL	
Data	Profundidade (m)
21/1/2010	20,00

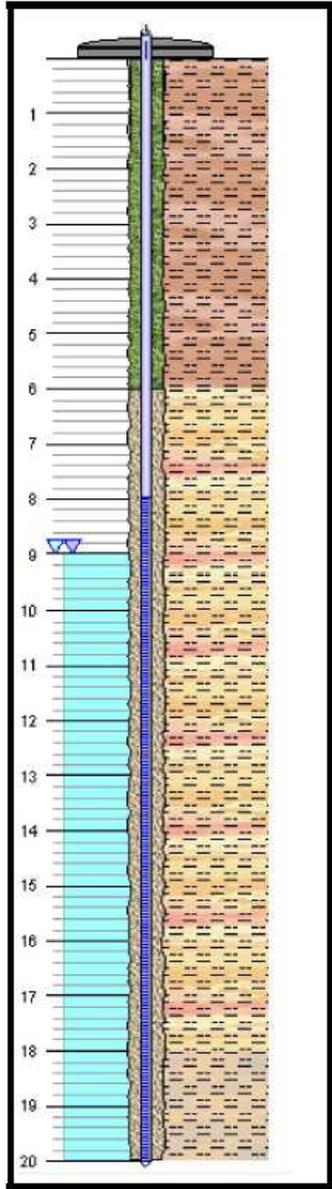
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS			
Perfurador: AMARILDO BARBOSA		Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA-MG:9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/COPASA	Locador: EMBRAPA/ COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 20,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC - 21

Município: Prudente de Moraes

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	20,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	6,00	Solo argilo-siltoso de coloração marrom escuro.
6,00	18,00	Material argilo-siltoso de coloração alaranjada.
18,00	20,00	Material argilo-siltoso de coloração bege amarelado.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7179/10

Município: Prudente de Morais

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC- 22

NE (m): 4,55

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO:21.01.2010

DATA TERMINO:22.01.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		4,00	10,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	4,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO
DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO					Profundidade (m)
Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)		
6	152,40	0,00	10,00	10,00	
ESPAÇO ANULAR			ENTRADA D'ÁGUA		
De (m)	Até (m)	Material	Profundidade (m)		
0,00	3,00	Cimentação e Laje de Proteção			
3,00	10,00	Pre-filtro			
FORMAÇÃO GEOLÓGICA			BOCA DO TUBO		
De (m)	Até (m)	Formação Geológica	Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
0,00	10,00	MANTO DE ALTERAÇÃO	2	50,80	0,33
PROFUNDIDADE ÚTIL					
Data	Profundidade (m)				
22/1/2010	10,00				

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

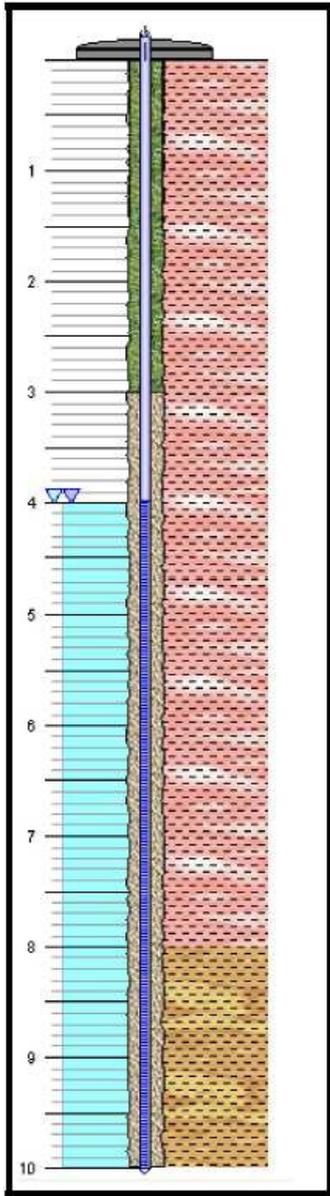
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Metodo de Perfuração: Percussao
CREA Resp. Perf.: CREA-MG: 9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/ COPASA
		Locador: EMBRAPA/ COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo,395-Camargos
Cep:30.520.220 Belo Horizonte - MG
Telefone /Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGEO 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 10,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC- 22

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	10,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	8,00	Material argiloso de coloração avermelhada.
8,00	10,00	Material argilo-siltoso de coloração acastanhado, com fragmentos de rocha alterada.



RELATÓRIO DE POÇO TUBULAR PROFUNDO

Nº Perfil : 7178/10

Município: Prudente de Moraes

Estado: MG

Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Natureza: Poço de Monitoramento Ambiental

Latitude:

Longitude:

Localidade: Embrapa PC - 23

NE (m): 1,98

ND (m):

Período de Perfuração:

DATA DE INICIO: 25.01.2010

DATA TERMINO: 26.01.2010

Vazão Estabil. (m³/h):

DADOS CONSTRUTIVOS

FILTRO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		2,00	6,00	FILTRO PVC GEOMECANICO
REVESTIMENTO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
2	50,80		0,00	2,00	TUBO PVC GEOMECANICO
TUBULAO					
Diâm. (pol)	Diâm. (mm)	Ranh. (mm)	De (m)	Até (m)	Material do Revestimento
6	152,40		0,00	1,50	TUBO PRETO

DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	De (m)	Até (m)	Profundidade (m)
6	152,40	0,00	6,00	6,00

ESPAÇO ANULAR

De (m)	Até (m)	Material
0,00	1,50	Cimentação e Laje de Proteção
1,50	6,00	Pre-filtro

ENTRADA D'ÁGUA

Profundidade (m)

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

BOCA DO TUBO

Diâmetro (pol)	Diâmetro (mm)	Altura (m)
2	50,80	0,47

PROFUNDIDADE ÚTIL

Data	Profundidade (m)
26/1/2010	6,00

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

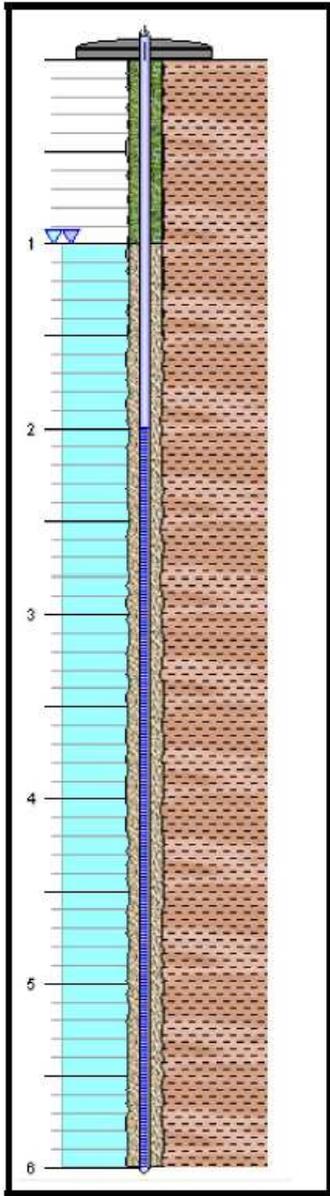
Perfurador: AMARILDO BARBOSA	Perfuratriz: P-10	Método de Perfuração: Percussão
CREA Resp. Perf.: CREA- MG:9589/D	Responsável pela Perfuração: ENG.º PEDRO A. TOMAZI DE SALLES	Autor do Projeto: EMBRAPA/COPASA
		Locador: EMBRAPA/ COPASA

Ass. Responsável Técnico: _____

Rua: Agenério Araújo, 395 - Camargos
Cep: 30.520.220 - Belo Horizonte - MG
Telefone / Fax : (31) 2122 1800 / 1844
Email : hpnet@hidropocos.com.br
www.hidropocos.com.br

DGE0 7.5-11 Rev:00

PERFIL LITOLÓGICO



Proprietário: COPASA / EMBRAPA

Situação: Aproveitável

Profund. (m): 6,00

Objetivo: Monitoramento Ambiental

Localização: Embrapa PC - 23

Município: Prudente de Morais

FORMAÇÃO GEOLÓGICA

De (m)	Até (m)	Formação Geológica
0,00	6,00	MANTO DE ALTERAÇÃO

DADOS LITOLÓGICOS

De (m)	Até (m)	Descrição Litológica
0,00	6,00	Material argilo-siltoso de coloração amarronzado, com fragmentos de rocha alterada.