



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
MESTRADO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE

ÉRIKA GONÇALVES PIRES

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE UMA MICRO-BACIA LOCALIZADA EM
ÁREAS DE CERRADO - SOLOS E HIDROLOGIA.**

Palmas -TO
Maio – 2009.

ÉRIKA GONÇALVES PIRES

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE UMA MICRO-BACIA LOCALIZADA EM
ÁREAS DE CERRADO - SOLOS E HIDROLOGIA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação Strictu Sensu da Universidade Federal do Tocantins (UFT) para obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente.

Orientadora: Prof^a DSc. Laura De Simone Borma.
Área de Concentração: Conservação da Biodiversidade.

Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos.

Palmas -TO
Maio – 2009.

ÉRIKA GONÇALVES PIRES

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DE UMA MICRO-BACIA LOCALIZADA EM
ÁREAS DE CERRADO - SOLOS E HIDROLOGIA.**

A comissão julgadora dos trabalhos de defesa da dissertação de mestrado, em sessão pública realizada em 30 / 04 / 2009 na Universidade Federal do Tocantins (UFT), considerou a
mestranda:

(x) Aprovada () Reprovada

Banca Examinadora:

Presidente: Prof^ª DSc. Laura De Simone Borma

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/MCT

Membro Externo: Prof^º DSc. Demetrius David da Silva

Instituição: Universidade Federal de Viçosa - UFV

Membro Interno: Prof^º DSc. Paula Benevides de Moraes

Instituição: Universidade Federal do Tocantins - UFT

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca da Universidade Federal do Tocantins
Campus Universitário de Palmas

P667c Pires, Érika Gonçalves.

Caracterização ambiental de uma micro-bacia localizada em áreas de cerrado - solos e hidrologia / Érika Gonçalves Pires. – Palmas, 2009.

125p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Tocantins (UFT), Curso de Ciências do Ambiente, 2009.

Orientadora: Laura De Simone Borma

1. Micro-bacia hidrográfica. 2. Caracterização. 3. Solo. 4. Umidade do solo. 5. Lençol freático. I. Título.

CDD 628

Bibliotecário: Paulo Roberto Moreira de Almeida
CRB-2 / 1118

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS –A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (**Lei nº 9.610/98**) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

DEDICATÓRIA

*“Dedico a minha mãe, Anastácia,
e ao meu pai, Sebastião (in memorim),
que antes de morrer me disse
para eu não me preocupar porque
ele estaria na minha formatura (defesa)”.*

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof.^a DSc. Laura De Simone Borma, pela paciência, orientação, apoio e presteza na condução desta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento do projeto CT-Hidro, que tornou viável essa dissertação.

Aos pesquisadores envolvidos no projeto CT-Hidro, em especial a prof^a Laura (Coordenadora do sub-projeto) que não mediu esforços para a instrumentação da bacia de estudo, principalmente nas fases de planejamento e execução do trabalho, além da compra e instalação dos equipamentos, que consiste em uma etapa demorada e trabalhosa. Ao Brugger, Dariusz, Lucas, Plácido pela ajuda na escolha da micro-bacia de estudo e instalação da micro-estação meteorológica Hobo e dos poços de observação. Ao pesquisador Helber Custódio de Freitas pelo empenho e dedicação na instalação dos equipamentos da estação meteorológica Campbell. Aos bolsistas Lucas, Plácido, Gilberto e Thaysi pela ajuda na coleta dos dados e manutenção dos equipamentos. Aos bolsistas Henrique e Lúcio pelas contribuições nesse trabalho, em especial a Liliane, que apesar de ter nos abandonado no meio do trabalho para fazer vãos maiores, auxiliou no planejamento e execução de grande parte desse trabalho. Ao Chico (o famoso “faz tudo”), pela instalação e coleta de grande parte dos dados dos poços, pela manutenção da área de estudo e pelo auxílio nas visitas de campo. A Soraya, pelo enorme auxílio na parte burocrática das visitas de campo (transporte, combustível, alimentação, liberação dos recursos financeiros, etc), e pela organização e motivação da equipe de trabalho. Enfim, agradeço imensamente a todos os envolvidos nesse projeto.

Aos professores da antiga ETF-Palmas: Avilmar, Heloísa, Itamara e Luiz Antônio que auxiliaram no levantamento topográfico da área de estudo. E também aos alunos do curso técnico em agrimensura (Turma 2008/2) e em especial os estagiários Elyamara, Fernando e Josias.

Ao NEMET/Unitins pela disponibilização de alguns dados meteorológicos. Em especial ao prof^o DSc. Alan Kardec Elias Martins por sempre me ajudar quando eu precisei, e a Daiane.

Ao corpo Docente do Curso de Mestrado em Ciências do Ambiente pelo aprendizado e pelo aperfeiçoamento do meu conhecimento tanto pessoal quanto profissional. Em especial ao profº Dsc. Lucas pela sua simplicidade e amor a docência.

Aos professores e mestrandos do Minter em Recursos Hídricos (UFT/UFRGS) pela sincera acolhida e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao Profº Adail Pereira de Carvalho, antigo diretor do atual IF-TO, que permitiu que eu participasse dessa capacitação profissional.

Aos servidores do atual IF-TO, em especial os professores Patrícia, Itamara, Heloísa, Avilmar, Eduardo, Caroline, Wanderlúbio, José Alberto, Ricardo, Lidiane, Sidney e Simone.

Aos colegas do mestrado em Ciências do Ambiente que compartilharam momentos inesquecíveis, em especial a Vanesa e o Giulliano.

Ao pessoal do INPE, em especial à Adriana Cuartas.

Ao meu amigo e companheiro Junior pela paciência e por me ajudar nos momentos mais difíceis dessa longa jornada.

Aos amigos Patrícia e Carlos por saberem da dificuldade para a obtenção desse título.

A minha amiga Heloísa pela grande amizade e colaboração em todos os momentos, principalmente nos momentos de solidão.

A minha família, por sempre acreditarem na importância do estudo.

E as pessoas que de alguma forma, contribuíram para a execução deste trabalho. Uma dissertação não é feita por um único indivíduo. É fruto do esforço de um grupo de pessoas que ajudam, direta ou indiretamente, fazendo sugestões, indicando caminhos, apontando possíveis erros, principalmente quando o trabalho envolve a instrumentação de uma bacia hidrográfica.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em uma das micro-bacias afluentes do Córrego Buritizal pertencente à sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, localizada em uma área rural próxima ao distrito de Taquaruçu, município de Palmas-TO. O objetivo do presente trabalho foi apresentar as etapas de instrumentação e caracterização hidrológica de uma micro-bacia localizada em ambiente Cerrado, a partir da observação dos dados meteorológicos, hidrológicos e do solo. Os trabalhos de caracterização e instrumentação foram divididos em 3 etapas: i) caracterização geral da bacia ii) caracterização quanto ao tipo de solo; iii) caracterização hidrológica. O levantamento topográfico da área de estudo a partir de equipamentos precisos permitiu caracterizar fisicamente a micro-bacia. As análises dos solos evidenciam que na região de estudo, típica de cerrado, os solos são predominantemente argilosos, de consistência média a rija, com eventuais camadas de solos argilosos moles intercaladas. Observou-se que os dados obtidos pelas estações meteorológicas instaladas na área de estudo são coerentes com os dados obtidos pelas estações São João e INMET-Palmas. A análise dos dados meteorológicos permitiu compreender como se comportam as variáveis climáticas na região. O clima na região apresenta uma sazonalidade típica de região de cerrado, com ocorrência de estações secas e chuvosas bem definidas. Durante o período chuvoso o menor e o maior índice pluviométrico foi de 51,8 e 311,7mm, respectivamente, e durante o período seco o maior índice pluviométrico foi de 34,0mm. A temperatura do ar variou de aproximadamente 23 a 28°C, tanto no período seco quanto no período chuvoso. Quanto à umidade do solo, observou-se que a mesma variou ao longo da camada superficial de 80 cm em função da precipitação. No entanto, existe um comportamento característico de diminuição da umidade do solo na profundidade de 20cm, que pode ser indicativo da presença de raízes nessa região. A abertura de poços para monitoramento do nível d'água na micro-bacia e a realização das sondagens a percussão permitiu esboçar algumas análises quanto à variação do lençol freático e também com relação à profundidade do manto rochoso (impenetrável). Em geral, a profundidade de instalação dos poços esteve entre 1,5m e 3,5m de profundidade, levando a concluir que uma camada rochosa mais resistente estaria situada nessa profundidade. No entanto, as sondagens à percussão localizadas nas proximidades de alguns desses poços, atingiram o impenetrável à cerca de 7,0m de profundidade (para a altitude de aproximadamente 640m) e a cerca de 5,0m (para a altitude de aproximadamente 630m). Isso leva a concluir, conforme apontado pelas sondagens, que, a região apresenta presença marcante de camadas de argila rija, antes de atingir o manto rochoso. Com relação à

variação do lençol freático, observa-se a partir dos poços de observação, que a profundidade esteve entre aproximadamente 3,5m da superfície do solo no período seco e 1,0m no período chuvoso. Para o período chuvoso de 2007/2008 a elevação foi menos sensível e intermitente, ao passo que no período chuvoso de 2008/2009, a elevação do nível d'água foi maior e contínua.

Palavras-chave: Microbacia hidrográfica, caracterização, solo, umidade do solo, lençol freático.

ABSTRACT

The study was developed in one small watershed of the Buritizal Stream to the watershed of Taquaruçu Grande River, located in an agricultural area, next to Taquaruçu district, in Palmas-TO. The objective of the present study was to show the instrumentation and hydrological characterization of a small watershed located in Cerrado ecosystem, through meteorological, hydrology and soil data. The characterization and instrumentation had been divided in 3 stages: i) characterization of watershed ii) hydrological characterization; iii) soil type characterization. The topographical survey of the study area, by accuracy equipment allowed to physically characterize the small. Soils analyses evidence that the soil of the region of study, typical of Cerrado, are predominantly clay, from medium to firm consistency, with eventual intercalated soft clay between the soils layers. It was observed that the meteorological station, installed in the study area, generate coherent data to the São João and INMET-Palmas stations. The meteorological analysis allowed to understand how the climatic is variable in the region. The climate in the region presents a typical seasonal pattern of Cerrado region, with occurrence of dry and wet seasons. The highest temperatures occurred in the dry period, in result of the highest solar radiation. During the wet period the lowest and the highest precipitation values were of 51,8 and 311,7mm, respectively, and during the dry period the highest value was 34,0mm. The air temperature varied approximately from 23 to 28°C, in the dry and wet period. In relation to the soil moisture, it was observed that it varied throughout the superficial layer of 80 cm, in function of the precipitation. However, there's a characteristic behavior of reduction of the soil moisture at depth of 20cm, that could be indicative of the presence of roots in this region. The opening of piezometers to monitor the water level in the watershed and the accomplishment of percussion soundings allowed to sketch some analyses how much to the phreatic surface variation and about to rocky mantle depth (impenetrable). In general, the depth of installation of piezometers was between 1,5m and 3,5m of depth, leading to conclude that a more resistant rocky layer would be situated in this depth. However, the percussion soundings located near some piezometers, had reached the impenetrable one to about 7,0m of depth (for the altitude of approximately 640m) and about 5,0m (for the altitude of approximately 630m). Therefore, the soundings pointed that the region have strong presence of firm clay layers, before reaching the rocky mantle. The water variation was observed through the use of piezometers. The phreatic surface depth was approximately 3,5m in the dry period and 1,0m in the wet period. In the wet period of

2007/2008 the increase was less sensible and intermittent, where as in the wet period of 2008/2009, the increase of the water level was higger and continuous.

Key-words: Small watershed, characterization, soil, soil moisture, phreatic surface.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1: Representação esquemática dos processos envolvidos no ciclo hidrológico.....	21
Figura 3.2: Componentes do balanço de água no solo considerando o declive do terreno.	23
Figura 3.3: Elemento de um solo não saturado.	25
Figura 3.4: Distribuição das águas abaixo da superfície do solo.....	26
Figura 3.5: Pressão em relação ao nível d'água em um tubo capilar.	28
Figura 3.6: Perfis de umidade em 5 tempos diferentes.....	29
Figura 3.7: Características da umidade no solo.....	35
Figura 3.8: Tipo de trado manual.	36
Figura 3.9: Etapas de sondagem à percussão.	38
Figura 3.10: Esquema de um poço de observação.....	39
Figura 4.1: Localização geográfica da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande e da área de estudo.....	42
Figura 4.2: Vegetação típica da região.	50
Figura 4.3: Mata de galeria existente na área de estudo.....	50
Figura 4.4: Fluxograma da metodologia.....	52
Figura 4.5: Execução do levantamento topográfico da micro-bacia.	53
Figura 4.6: Equipamentos utilizados no levantamento topográfico.	54
Figura 4.7: Micro-estação meteorológica HOBO.....	57
Figura 4.8: Estação meteorológica Campbell.....	58
Figura 4.9: Datalogger e coletor de dados da estação Campbell.....	60
Figura 4.10: Sensor FDR - modelo CS616.....	60
Figura 4.13: Pluviógrafo instalado na área.....	63
Figura 4.14: Armazenamento das amostras de solo.	64
Figura 4.15: Amostras de solo.....	64
Figura 4.16: Instalação dos poços de observação.....	65
Figura 4.17: Poços de observação instalados.	66
Figura 4.18: Localização dos poços de observação instalados.....	67
Figura 5.1: Mapa de curvas de nível da micro-bacia.....	69
Figura 5.2: Mapa hipsométrico da micro-bacia.....	70
Figura 5.3: Mapa de uso e cobertura da terra (2008).....	71
Figura 5.4: Modelo Digital do Terreno da micro-bacia.	72
Figura 5.5: Classificação granulométrica do solo – Poço de observação S1 ao S5.	77

Figura 5.6: Teor de matéria orgânica no solo (Poços S2 e S5).	78
Figura 5.9: Precipitação mensal acumulada (Jul/07 a Fev/09).	80
Figura 5.10: Médias mensais da temperatura, umidade do ar, ponto de orvalho, velocidade dos ventos e precipitação acumulada (Jul/07 a Fev/09).	81
Figura 5.11: Médias mensais da radiação solar, temperatura do ar e precipitação acumulada (Jul/07 a Fev/09).	83
Figura 5.12: Diagrama utilizado na classificação das direções principais	83
Figura 5.13: Localização das estações meteorológicas.	85
Figura 5.14: Precipitação Acumulada Mensal.	86
Figura 5.15: Médias mensais da temperatura, umidade do ar, ponto de orvalho, velocidade dos ventos e precipitação acumulada (Jul/07 a Mar/08)	87
Figura 5.16: Precipitação Acumulada Quinzenal no período de novembro/08 a janeiro/09....	88
Figura 5.17: Temperatura média diária.	89
Figura 5.18: Umidade média relativa do ar.	89
Figura 5.19: Velocidade dos ventos.	90
Figura 5.20: Teor de umidade volumétrica no solo e precipitação diária (Evento 1 a e 5).	94
Figura 5.21: Teor de umidade volumétrica no solo e precipitação diária (Dia 15/01/2009)....	94
Figura 5.22: Localização dos poços de observação na micro-bacia.	96
Figura 5.23: Fluxo d'água na micro-bacia.	97
Figura 5.24: Mapa de uso e cobertura da terra com os poços de observação.	98
Figura 5.25 – Variação do lençol freático para os poços P17, P18, P19, P20 e S5.	100
Figura 5.26 - Variação do lençol freático para os poços P1, P2, P3, P4 e S1.	101
Figura 5.27 - Variação do lençol freático para os poços P11, P12, P13, P14, S3 e S4.	102
Figura 5.28 - Variação do lençol nível do lençol freático para os poços P5, P6, P7, P8, P9, P10 e P21.	103
Figura 5.29 - Variação do lençol nível do lençol freático para os poços P15, P16 e S2.	103
Figura 5.30 - Variação do lençol nível do lençol freático em relação a topografia (Seção 1).	104
Figura 5.31 - Variação do lençol nível do lençol freático em relação a topografia (Seção 2).	105
Figura 5.32: Variação do nível d' água dos poços de observação S1 ao S5.	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Classificação do solo.	38
Tabela 4.1: Equipamentos da estação Campbell.	59
Tabela 5.1: Atributos morfométricos da micro-bacia de estudo.	73
Tabela 5.2: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S1).....	74
Tabela 5.3: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S2).....	74
Tabela 5.4: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S3).....	75
Tabela 5.5: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S4).....	75
Tabela 5.6: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S5).....	76
Tabela 5.7: Médias mensais dos dados meteorológicos da estação Hobo.....	79
Tabela 5.8: Direção dos Ventos (Jul/07 a Fev/09).	84
Tabela 5.9: Divisão dos poços de observação em grupos segundo a sua localização.....	99

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos.....	20
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
3.1 Ciclo Hidrológico.....	21
3.2 Dinâmica de Água no Solo.....	24
3.3 Umidade do Solo.....	28
3.3.1 Valores Característicos da Umidade do Solo.....	33
3.4 Monitoramento do Lençol Freático.....	35
3.4.1 Sondagem.....	35
3.4.1.1 Sondagem a Trado.....	36
3.4.1.2 Sondagem a Percussão.....	37
3.4.2 Poço de observação.....	39
3.4.3 Piezômetro.....	39
3.5 Bioma Cerrado.....	40
3.5.1 O Comportamento Hidrológico do Cerrado.....	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	42
4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo.....	42
4.1.1 Geologia.....	43
4.1.2 Geomorfologia.....	44
4.1.3 Pedologia.....	45
4.1.4 Declividade.....	46
4.1.5 Clima.....	46
4.1.6 Hidrografia.....	47
4.1.7 Vegetação.....	48
4.2 Caracterização e Instrumentação da Micro-bacia.....	51
4.2.1 Levantamento Topográfico.....	51
4.2.2 Determinação dos Atributos Morfométricos da Bacia.....	55
4.2.3 Instalação das Estações Meteorológicas.....	56
4.2.3.1 Instalação da micro-estação HOBO.....	56
4.2.3.2 Instalação da Estação Campbell.....	58

4.2.3	Instalação do Pluviógrafo	62
4.2.4	Análise do Solo.....	63
4.2.5	Instalação dos Poços de Observação	65
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1	Caracterização Geral da Bacia.....	68
5.1.1	Levantamento Topográfico.....	68
5.1.2	Mapas Temáticos	68
5.1.2.1	Mapa Hipsométrico	68
5.1.2.2	Mapa de Uso e Cobertura da Terra.....	68
5.1.2.3	Modelo Digital do Terreno	72
5.1.2	Atributos Morfométricos da Bacia	72
5.2	Caracterização Quanto ao Tipo de Solo	73
5.2.1	Descrição Morfológica do Perfil do Solo	73
5.2.2	Classificação Granulométrica.....	76
5.2.3	Teor de Matéria Orgânica no Solo	78
5.3	Caracterização Hidrológica	79
5.3.1	Dados Meteorológicos.....	79
5.3.1.1	Estação Hobo.....	79
5.3.1.2	Comparação entre as Estações Hobo, São João e INMET.....	84
5.3.1.3	Comparação entre as Estações Hobo e Campbell	88
5.3.2	Análise do Teor de Umidade do Solo.....	91
5.3.3	Variação do lençol freático e Direções de fluxo de superfície.....	95
5.3.3.1	Monitoramento do Lençol Freático	99
6.	CONCLUSÕES	108
7.	RECOMENDAÇÕES.....	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
	ANEXOS	120

1. INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é uma área delimitada topograficamente individualizada pelo divisor de águas, drenada por um curso d'água ou por uma rede conectada de curso d'água, tal que toda vazão efluente é descarregada por uma única saída (exutório). Em termos ambientais, é a unidade ecossistêmica e morfológica que melhor reflete os impactos das interferências antrópicas, seja na ocupação de terras com atividades agrícolas ou com a urbanização.

A bacia hidrográfica é delimitada no espaço geográfico pelo divisor de águas, representado pela linha imaginária que une os pontos de cotas mais elevadas, fazendo com que a água da chuva, ao atingir a superfície do solo, tenha seu destino dirigido no sentido de um ou outro córrego ou rio (VALENTE et al., 2005).

De acordo com Silveira (2004), a bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados em profundidade. Em um evento isolado pode-se, desconsiderar estas perdas e analisar a transformação de chuva em vazão feita pela bacia.

As bacias hidrográficas apresentam dinâmicas hidrológicas diferentes de acordo com suas características topográficas, edáficas e, de uso e cobertura. Esses fatores afetam a velocidade e magnitude das respostas hídricas da bacia. Bacias hidrográficas com solos profundos, permeáveis e com intensidade pluviométrica baixa tendem a apresentar respostas lentas, com fluxos sub-superficiais dominados pelas características matriciais do solo. Essas bacias apresentam respostas defasadas e bastante sutis em relação à precipitação. Por outro lado, bacias hidrográficas com solos rasos e impermeáveis, e com alta intensidade pluviométrica apresentam respostas rápidas, representadas por picos no hidrograma de saída da bacia (VERTESSY & ELSENBEER, 1999).

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (WHITEHEAD e ROBINSON, 1993 apud RENNO, 2003).

De acordo com Pinto (1976) ainda que os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios, possam parecer suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam, basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias e

estiagens para constatar o inadequado domínio do Homem sobre as leis naturais que regem esses fenômenos e a necessidade de se aprofundar o seu conhecimento.

Segundo Nascimento et al. (2005), o monitoramento das bacias hidrográficas tem sido um grande desafio sob o aspecto técnico e econômico.

Salienta-se que a instrumentação e monitoramento de uma bacia é um trabalho árduo e que exige tempo, recursos financeiros e o envolvimento de vários profissionais.

Para Lana (1995), o manejo de microbacias hidrográficas visa promover a proteção de água, solo e outros recursos ambientais, essenciais para a sustentabilidade das atividades econômicas, ao controle da degradação ambiental local à jusante da microbacia e à equidade social. O manejo de microbacias hidrográficas desenvolveu-se historicamente a partir de medidas relativas a situações de degradações ambientais, verificadas em bacias hidrográficas intensamente exploradas pela agricultura.

O estudo em microbacias é uma forma eficiente de gerar tecnologia regionalizada, difundir as práticas de manejo de solo e culturas, conservar os recursos naturais e contribuir para o desenvolvimento municipal e regional. Permite ainda, propor soluções para melhorar os sistemas de produção adotados pelo agricultor, bem como, introduzir alternativas tecnológicas edafo-climáticas e sócio-economicamente viáveis que tenham potencial para região (SILVA et al., 2004).

De acordo com Neill et al. (2006), os estudos em pequenas bacias hidrográficas têm contribuído para o melhor entendimento das funções hidrológicas e biogeoquímicas nos ecossistemas das florestas. Conforme Dunne & Black (1970) esses estudos tem contribuído expressivamente para o melhor entendimento do processo de geração do escoamento da água precipitada.

Um dos capítulos fundamentais mais antigos na história da Hidrologia é a procura de instrumentos que permitam determinar a evolução da vazão ao longo do tempo, do escoamento de um rio, a partir de dados pluviométricos e informações sobre as características fisiográficas da bacia hidrográfica (COELHO, 2003).

O uso de microbacias hidrográficas como unidades experimentais mostraram, cabalmente, que o uso da terra e as atividades florestais podem afetar não apenas a quantidade e o regime da vazão, assim como a qualidade da água. (AUBERTIN & PATRIC, 1974).

Linhares (2005) avaliou o impacto do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica em uma bacia hidrográfica no norte do Brasil. Os resultados obtidos indicaram que a remoção da floresta gera uma resposta rápida nos valores de escoamento superficial e lateral devido à diminuição dos processos de interceptação e de infiltração após a remoção da

floresta, o que pode causar várias conseqüências, dentre elas a erosão. Isso mostra claramente as conseqüências das atividades antrópicas no meio ambiente, principalmente, nos recursos hídricos.

A área de drenagem selecionada para o presente estudo compreende uma microbacia, localizada em uma das cabeceiras da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, uma das 13 bacias que deságuam na margem direita do reservatório da UHE Luiz Eduardo Magalhães. A importância regional da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande deve-se em grande parte à sua contribuição ao desenvolvimento local e, principalmente, ao fato de ser responsável por cerca de 80% do abastecimento do município de Palmas-TO (SANEATINS, 2007).

Conforme SANEATINS (2006), diversos fatores vêm contribuindo para a degradação ambiental na região, destacando-se principalmente o processo de uso e ocupação desordenada do solo, aliada à mudança cultural comum na abertura de novas fronteiras. A bacia vem sofrendo um acelerado processo de degradação ambiental, principalmente com relação aos recursos hídricos, fato este que pode ser comprovado pela diminuição expressiva da vazão do Ribeirão Taquaruçu Grande no ano de 2005.

Apesar das grandes áreas cobertas pela vegetação de cerrado no Brasil, poucos estudos meteorológicos e hidrológicos nessas regiões são reportados na literatura (HARIDASAN, 2001; OLIVEIRA & MARQUIS, 2002) principalmente no Estado do Tocantins que é um estado recente.

Em virtude disso, há uma escassez de dados meteorológicos e hidrológicos para a região da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, e considerando a sua extensão e importância hídrica para a região, há a necessidade de estudos mais detalhados em outras áreas da sub-bacia.

Os estudos realizados nessa bacia compreendem a instrumentação com vistas ao entendimento dos fatores que interferem na produção hídrica da bacia.

Esse monitoramento também constitui em um instrumento fundamental de análise ambiental, podendo registrar possíveis alterações futuras nas características meteorológicas e hidrológicas, resultantes provavelmente das atividades antrópicas desenvolvidas nesta região.

Assim sendo, o presente trabalho visa avançar no conhecimento do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas na região do cerrado, com ênfase no Estado do Tocantins.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é apresentar as etapas de instrumentação e caracterização hidrológica de uma micro-bacia localizada em ambiente cerrado, a partir da observação dos dados meteorológicos, hidrológicos e do solo.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterização do meio físico da micro-bacia;
- Caracterização morfométrica da micro-bacia;
- Levantamento, análise e armazenamento de dados hidrológicos;
- Análise dos atributos topográficos como medida indireta da variabilidade espacial dos processos hidrológicos;
- Análise da variabilidade do teor de umidade volumétrico do solo;
- Monitoramento do lençol freático.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ciclo Hidrológico

O pleno conhecimento do ciclo hidrológico é fundamental para o manejo de bacias hidrográficas e a conservação das nascentes dos nossos cursos d'água.

Ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre (SILVEIRA, 2004).

Denomina-se ciclo hidrológico ao processo natural de evaporação, condensação, precipitação, detenção e escoamentos superficiais, infiltração, percolação da água no solo e nos aquíferos, escoamentos fluviais e interações entre esses componentes. A Figura 3.1 mostra esquematicamente os principais processos envolvidos no ciclo hidrológico.

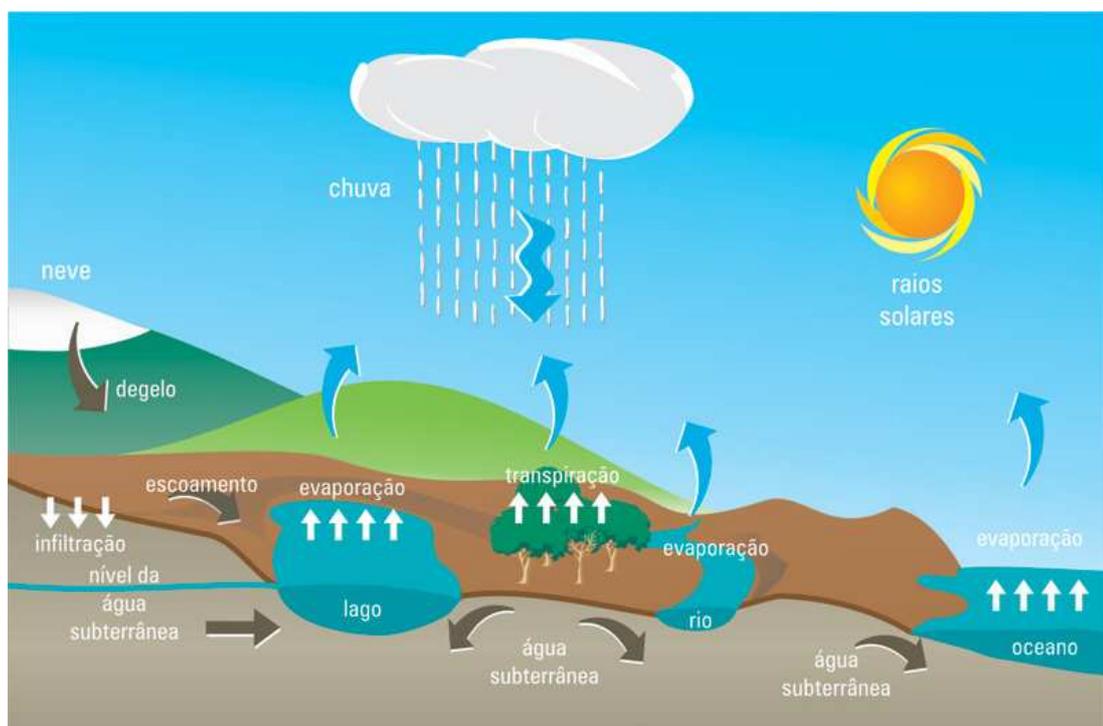


Figura 3.1: Representação esquemática dos processos envolvidos no ciclo hidrológico.

Fonte: Devesa, 2009.

A precipitação representa a principal entrada de água no sistema, sendo, em geral, representada em termos de altura de lâmina d'água (geralmente em metros ou milímetros). A precipitação, caracteristicamente, apresenta grande variação temporal e espacial.

A precipitação, na sua forma mais comum que é a chuva, ocorre quando complexos fenômenos de aglutinação e crescimento das microgotículas, em nuvens com presença significativa de umidade (vapor d'água) e núcleos de condensação (poeira ou gelo), formam uma grande quantidade de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força da gravidade supere a turbulência normal ou movimentos ascendentes do meio atmosférico. Quando o vapor de água transforma-se diretamente em cristais de gelo e estes atingem tamanho e peso suficientes, a precipitação pode ocorrer na forma de neve ou granizo (SILVEIRA, 2004).

No trajeto em direção à superfície terrestre a precipitação já sofre evaporação. Em algumas regiões esta evaporação pode ser significativa, existindo casos em que a precipitação é totalmente vaporizada (SILVEIRA, 2004). De acordo com Pinto (1976) é pela evaporação que se mantém o equilíbrio do ciclo hidrológico, pois do volume total que atinge o solo a maior parte retorna à atmosfera por evaporação e transpiração.

Caindo sobre um solo com cobertura vegetal, parte do volume precipitado sofre interceptação em folhas e caules, de onde evapora. Excedendo a capacidade de armazenar água na superfície dos vegetais, ou por ação dos ventos, a água interceptada pode reprecipitar para o solo (SILVEIRA, 2004).

A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo (BLAKE, 1975). A interceptação pode ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento. Este processo interfere no balanço hídrico da bacia hidrográfica. A tendência é de que a interceptação reduza a variação da vazão ao longo do ano, retarde e reduza o pico das cheias (TUCCI, 2004).

A água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, ele possibilita a infiltração total da precipitação desde que duas condições principais sejam satisfeitas: i) o solo não esteja saturado e ii) a taxa de precipitação não exceda a capacidade de infiltração. Caso ocorra uma dessas situações, a parcela de precipitação não infiltrada irá gerar escoamento superficial. A infiltração e a percolação no interior do solo são comandadas pelas tensões capilares nos poros e pela gravidade. A umidade do solo realimentada pela infiltração é aproveitada em parte pelos vegetais, que a absorvem pelas raízes e as devolvem à atmosfera por transpiração, na forma de vapor de água. A fração que não é transpirada, percola para o lençol freático que normalmente contribui para o escoamento de base dos rios (SILVEIRA et al., 2004). A ocorrência conjunta de evaporação e transpiração dá-se o nome de evapotranspiração.

A água penetra por gravidade no solo até atingir as zonas saturadas, que constituem o reservatório de água subterrânea, também denominados de lençóis aquíferos ou simplesmente “aquíferos”. Estes podem ser de dois tipos: “Artesianos” ou “Livres” também denominados “lençóis freáticos” (MARAGON, 2008).

O lençol freático ou subterrâneo tende a acompanhar a topografia da superfície do solo e oscila, ao longo do ano, sendo rebaixado com o escoamento para nascentes ou elevado com a incorporação de água infiltrada da chuva e/ou de degelo. Ele depende substancialmente da existência ou não de cobertura vegetal (UNB, 2009). A Figura 3.2 mostra os componentes do balanço de água no solo considerando o declive do terreno.

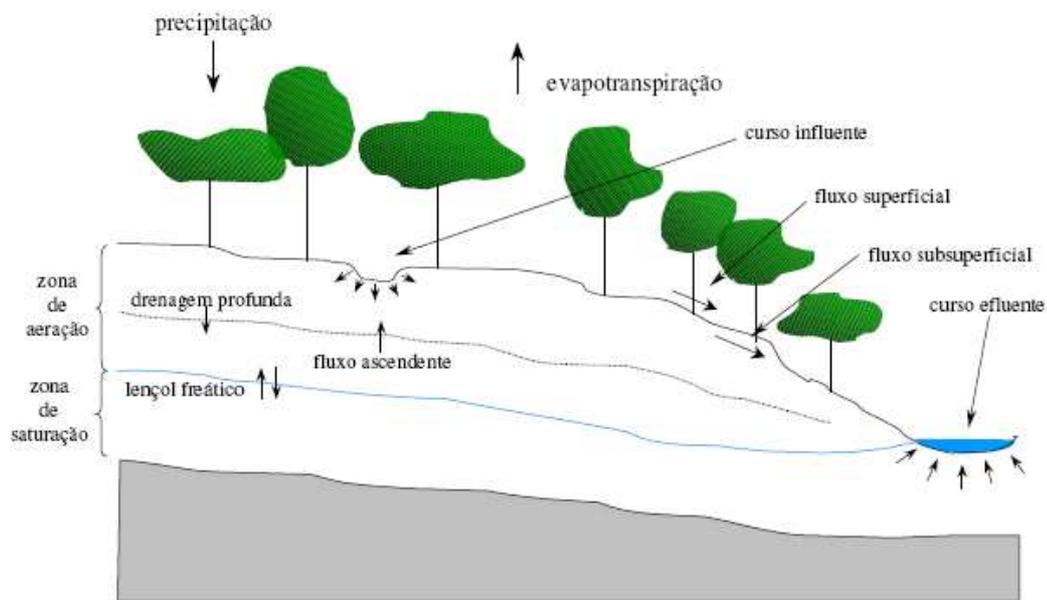


Figura 3.2: Componentes do balanço de água no solo considerando o declive do terreno.

Fonte: Rennó, 2003.

Para estudar o ciclo d'água de uma bacia hidrográfica é necessário considerar o balanço hídrico. O balanço hídrico é o somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo e, num dado intervalo de tempo, o resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece (REICHARDT, 2004).

De acordo Righeto (1998) o balanço hídrico em uma bacia hidrográfica ou em um sistema hídrico particular é realizado por meio da aplicação da equação da conservação da massa, chamada equação hidrológica fundamental, dada pela Equação 3.1.

$$Q_e - Q_s = \frac{dV}{dt} \quad (3.1)$$

onde:

Q_e : vazão de entrada

Q_s : vazão de saída

V : volume armazenado na bacia

t : intervalo de tempo

De acordo com a Equação 3.1, a variação de volume de água armazenada em um dado intervalo de tempo (dV/dt) é equivalente à quantidade de água que entrou na bacia (Q_e) menos a quantidade perdida (Q_s). Em termos matemáticos, o balanço hídrico envolve a continuidade de massa (lei de conservação da massa) e considera a troca de energia dos sistemas envolvidos (para consideração da evapotranspiração), no tempo e no espaço. Em termos práticos, o cálculo do balanço hídrico, implica em quantificar, ao longo de um dado intervalo de tempo, macrovariáveis envolvidas no ciclo hidrológico. Por exemplo, para uma dada bacia, dentro de uma macroanálise pode ser de interesse avaliar quanto da precipitação, ao longo de um período chuvoso, resultou em aumento da umidade do solo, evaporação e vazão (TUCCI, 2004).

O cálculo do balanço hídrico pode ser realizado de forma simplificada através de valores médios das principais variáveis, calculados para longos períodos de tempo como, por exemplo, variações anuais ou decadais. Para uma análise mais detalhada, considerando vários componentes do balanço hídrico e em intervalos de tempo menores (variações mensais, sazonais, diárias), o ideal é utilizar modelos matemáticos hidrológicos (TUCCI, 2004).

3.2 Dinâmica de Água no Solo

O solo não saturado é constituído de uma fase sólida (partículas minerais), de uma fase líquida (água), de uma fase gasosa (ar) e uma membrana contáctil que representa a interface ar-água. As partes líquida e gasosa ocupam os espaços livres do solo que são os poros, que variam em tamanho dividindo-se em macroporos e microporos. A Figura 3.3 ilustra um elemento de um solo não saturado com fase contínua de ar.

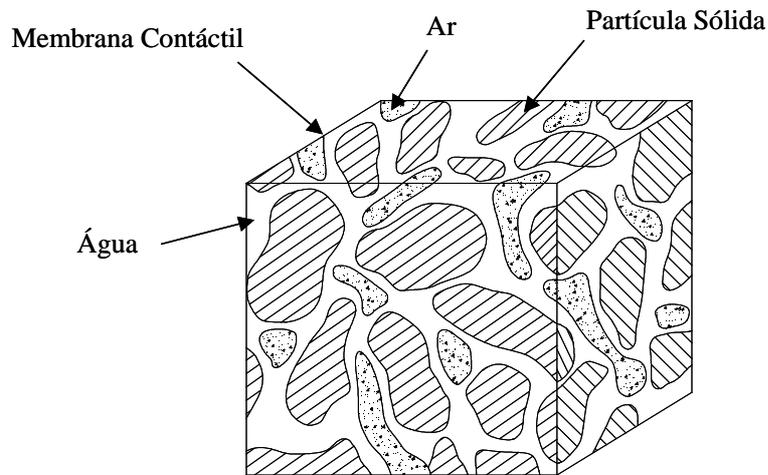


Figura 3.3: Elemento de um solo não saturado.

Fonte: Adaptado de Fredlund & Rahardjo, 1993.

Na hidrologia, o solo pode ser entendido como um reservatório, cujo volume de água armazenado é bastante variável no tempo, dependendo de muitos fatores. O balanço de água no solo pode ser resolvido computando-se todas as entradas e as saídas do sistema.

Do ponto de vista hidrológico, o perfil do solo pode ser dividido em duas zonas: zona de aeração (ou não saturada) e zona saturada como mostra a Figura 3.4. A zona de aeração compreende desde a superfície do solo até o lençol freático. A zona saturada estende-se do lençol freático até a rocha, sendo também conhecida como aquífero não confinado.

Na zona de saturação, a água ocupa todos os vazios do solo. Na zona de aeração, os interstícios do solo são parcialmente preenchidos pela água, enquanto o ar preenche os demais espaços livres. A zona de aeração divide-se em: zona de água do solo que corresponde a um cinturão de umidade onde as plantas se desenvolvem, a zona intermediária que serve como freio das chuvas intensas, e a zona capilar formada pela ascensão capilar da água do lençol freático (CAICEDO, 2004).

A partícula de água no solo fica sujeita a uma série de forças que determinarão o sentido e a velocidade de seu deslocamento dentro do solo. A água, ao infiltrar no solo, está sujeita, principalmente, às forças devidas à atração molecular ou adesão, à tensão superficial ou efeitos de capilaridade, e à atração gravitacional (PINTO, 1976).

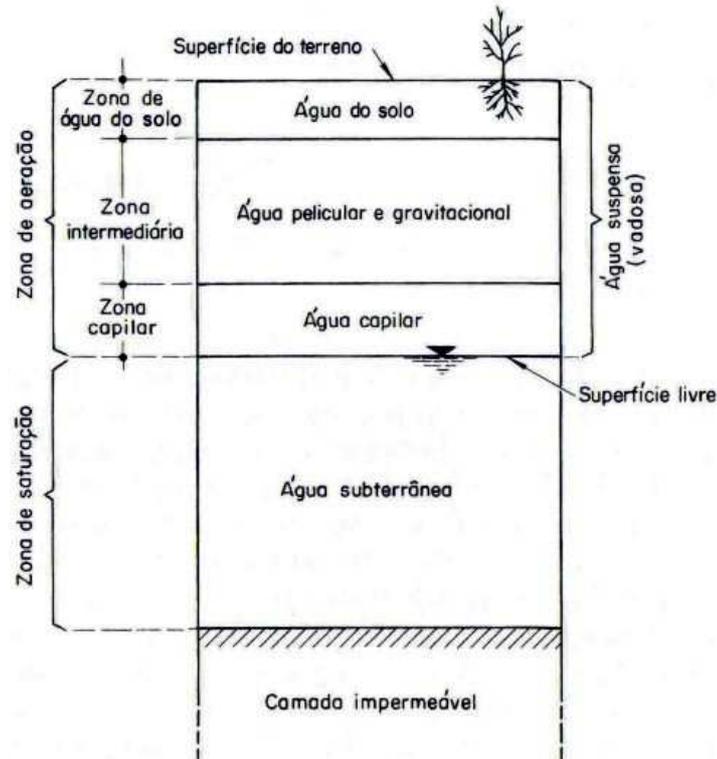


Figura 3.4: Distribuição das águas abaixo da superfície do solo.

Fonte: Pinto, 1976.

Quanto à morfologia da bacia, existem alguns parâmetros principais que a caracterizam: comprimento, área, perímetro, declividades, padrão de drenagem e relevo. A morfologia de uma bacia foi modelada pelo movimento da água ao longo do tempo e determinará o movimento da água no presente (HEWLETT, 1982).

O movimento da água no solo depende do gradiente de potencial existente entre dois pontos e da condutividade hidráulica. Darcy (1856) foi o primeiro a estabelecer uma equação que possibilitasse a quantificação do movimento de água em materiais porosos saturados. Ele verificou que a densidade de fluxo de água é proporcional ao gradiente de potencial hidráulico no solo. A equação de Darcy é dada pela Equação 3.2.

$$q_v = -K \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (3.2)$$

onde:

q_v = fluxo vertical de água que atravessa uma unidade de área da seção transversal por unidade de tempo na direção de menor potencial;

K = condutividade hidráulica do solo;

ψ = potencial hidráulico total;

z = distância vertical a partir da superfície do solo (profundidade).

De acordo com Brady (1989) existem três forças importantes que exercem influência sobre a energia livre da água no solo. A primeira delas é a adesão ou atração que os sólidos do solo (matriz) exercem sobre a água. Essa adesão proporciona uma *força matricial* (força de contato) que produz uma marcante redução na energia livre das moléculas de água, fazendo com as mesmas fiquem fortemente retidas às partículas do solo sendo por isso, algumas vezes, denominadas de água sólida. Uma segunda força atuante decorre da atração de íons e de outros solutos pela água, resultando em *forças osmóticas* que tendem a reduzir a energia livre da solução do solo, ou seja, maior aderência da água às partículas de solo.

A terceira força em ação na água do solo é a *força da gravidade*, que tende a “puxar” o líquido para baixo. A energia livre da água do solo numa determinada elevação no perfil é superior à da água pura em alguma elevação menor (Lei de Darcy). É esta diferença no nível de energia livre que ocasiona o fluxo de água. Portanto, o movimento da água no solo sempre será orientado da região de maior potencial para a região de menor potencial. Por exemplo, a força gravitacional é maior em solos arenosos, pois estes possuem poros maiores do que o dos solos argilosos.

Estas forças geralmente são descritas em termos de seus efeitos, que são as sucções. A sucção total que retém a água no solo é composta de duas componentes: a sucção matricial e a sucção osmótica. As forças de sucção que retêm a água no solo são também denominadas potenciais. O potencial total da água no solo é definido como o trabalho realizado para levar, reversível e isotermicamente, uma quantidade infinitesimal de água pura, desde um ponto situado a uma altura conhecida, sob condição atmosférica, até um ponto considerado da água do solo.

Na prática o potencial total de água no solo é a soma dos potenciais resultantes das diversas forças que atuam sobre a água do solo, ou seja, a soma dos potenciais gravitacional, matricial e osmótico.

A sucção do solo é a quantidade de energia que representa a capacidade do solo de reter água. Para liberar a água retida no solo, uma energia externa tem que ser aplicada para contrapor-se à força de retenção da água. Um dos parâmetros determinantes para conhecimento do solo na condição não saturada é a sucção.

Quando a água do solo está sob pressões hidrostáticas maiores do que a pressão atmosférica, o potencial de pressão é considerado positivo. Quando ela está sob pressões

menores do que a pressão atmosférica, seu potencial é considerado negativo e esta pressão negativa é denominada sucção. Este princípio é ilustrado na Figura 3.5.

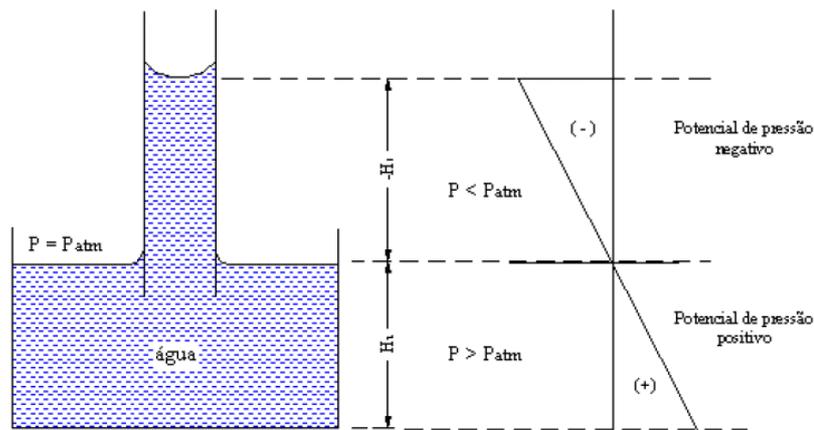


Figura 3.5: Pressão em relação ao nível d'água em um tubo capilar.

Fonte: Adaptado de Hillel (1971).

Por convenção, a pressão exercida na linha do lençol freático é nula, sendo positiva abaixo (zona saturada) e negativa acima deste nível (zona não saturada).

3.3 Umidade do Solo

A umidade do solo é uma das variáveis mais importantes nos processos de troca de energia e água entre o solo e a atmosfera, exercendo influência direta nos processos de infiltração, drenagem, evapotranspiração, escoamento superficial, entre outros. Além disso, é uma variável indispensável para o entendimento de muitos processos hidrológicos que estão envolvidos em uma grande variedade de processos naturais (geomorfológicos, climáticos, ecológicos, etc.) que atuam em diferentes escalas espaciais e temporais (ENTIN et al. 2000).

O solo pode reter água, armazenando-a por um determinado tempo. As plantas utilizam-se dessa água absorvendo-a e, em boa parte, devolvendo-a à atmosfera em forma de vapor. Desta forma, a água absorvida em forma líquida entre as partículas do solo vai esvaziando-se dos espaços porosos. Sua reposição pode ser feita naturalmente pelas chuvas ou, artificialmente, pela irrigação. No interior do solo ela fica retida tanto nos poros, entre agregados, como em finas películas em torno da superfície das partículas coloidais (LEPSCH, 2002).

Nem todos os solos têm a mesma capacidade de armazenar água. Ela varia em função de várias características, tais como textura, tipo de argila, estrutura e conteúdo de matéria

orgânica. Solos arenosos e com pouco húmus têm menor capacidade de armazenar água do que os solos argilosos ou de textura média, ricos em húmus (LEPSCH, 2002).

A umidade do solo, como mencionado anteriormente, também está relacionada com o processo de infiltração de água no solo. Na medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão-se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto há aporte de água, o perfil de umidade tende à saturação em toda a profundidade, sendo a superfície, naturalmente, o primeiro nível a saturar. Normalmente, a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas a superfície, conformando um perfil típico onde o teor de umidade decresce com a profundidade.

Quando a infiltração termina, a umidade no interior do solo se redistribui, evoluindo para um perfil de umidade inverso, com menores teores de umidade próximo à superfície e maiores nas camadas mais profundas.

A Figura 3.6 ilustra a redistribuição da água ao longo do perfil de solo em 5 tempos diferentes. A curva *a* representa o perfil de umidade de um solo homogêneo, supondo-se que não haja perdas por evaporação superficial nem tampouco retirada de água por raízes de plantas. Na curva *b* a infiltração é rápida e a chuva continua adicionando água nas camadas superficiais. Na curva *c* a superfície se aproxima da saturação, e a água percola mais profundamente no solo. Na curva *d* a chuva pára e a água se redistribui em poucas horas percolando no solo. Na curva *e* em um dia ou mais, os potenciais gravitacional e matricial puxam a água mais para baixo competindo por suprimento com a superfície. A redistribuição é geralmente interrompida pela chuva e pela evaporação antes que o equilíbrio se estabeleça.

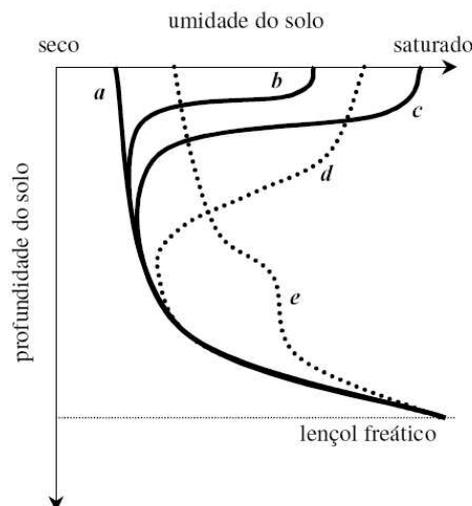


Figura 3.6: Perfis de umidade em 5 tempos diferentes.

Fonte: Hewlett, 1982.

Perrens (1984), em estudos sobre redistribuição da água no solo, verificou que a intensidade de redistribuição da água no solo está inteiramente relacionada com a textura do solo. Observou também que a uniformidade de umidade no solo a 50 cm de profundidade, durante o processo de redistribuição da água no solo, para um período de dois dias, aumentou de 60% para 73% em um solo do tipo areno-siltoso.

A umidade do solo controla a aeração, a temperatura e a resistência mecânica do solo, as quais são afetadas pela densidade do solo e distribuição do tamanho de poros. Esses aspectos são importantes para várias áreas do conhecimento: hidrologia, meteorologia, ciência do solo, engenharia geotécnica, etc. Dessa forma, uma série de técnicas ou métodos foram propostos para a sua determinação, conforme apresentado a seguir.

A umidade do solo pode ser expressa com base na massa ou no volume de água. A umidade que tem como referência a massa (umidade gravimétrica) é definida como a relação entre a massa de água e a massa de solo seco. A umidade que tem como referência o volume (umidade volumétrica) é definida como a relação entre o volume de água e o volume total (volumes de sólido, de ar e de água).

A determinação da umidade do solo em laboratório é um processo bastante simples. A amostra de solo deve ser coletada e sua umidade preservada durante a condução ao laboratório. A amostra pode ter qualquer tamanho, desde que não seja muito pequena, nem muito grande (ideal de 0,050 a 0,500kg) e pode ter a estrutura deformada. A pesagem da amostra antes e depois de seca em estufa (geralmente durante 24h à 105°C) permite a determinação da umidade gravimétrica. A determinação da umidade volumétrica exige ainda o conhecimento do volume da amostra coletada.

Os métodos para medida do teor de umidade no solo podem ser diretos ou indiretos, na medida em que medem diretamente a umidade do solo ou medem outras propriedades e as relacionam com o teor de umidade no solo. Como exemplo de medidas indiretas, citam-se os reflectômetros no domínio do tempo (TDR – Time Domain Reflectometers), reflectômetros no domínio da frequência (FDR – Frequency Domain Reflectometers) e a sonda de nêutrons.

De acordo com Rabello et al. (2005) as técnicas dielétricas mais sofisticadas são as que utilizam o princípio da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) onde é medido o tempo de propagação de ondas eletromagnéticas, geralmente na frequência de alguns gigahertz, em uma haste metálica inserida no interior do solo. O tempo de propagação é em função da constante dielétrica do solo que varia quando o solo umedece ou seca.

Um outro grupo de equipamentos também utiliza o princípio da medida de propriedades dielétricas, mas no domínio da frequência (FDR), na faixa de centenas de KHz a

algumas dezenas MHz. Segundo os mesmos autores esses equipamentos são muito mais simples do ponto de vista eletrônico e, por conseguinte, mais baratos.

Os sensores FDRs fornecem medidas da umidade do solo baseadas na relação entre quantidade de água e a frequência da onda eletromagnética. Esse método será melhor descrito adiante na metodologia, pois foi o utilizado nesse trabalho.

A sonda de nêutrons é um instrumento utilizado para a determinação do conteúdo de água do solo. Segundo Guerra (2000), a medida do teor de umidade no solo utilizando sonda de nêutrons, consiste em colocar uma fonte radioativa a uma profundidade desejada no solo (através de um tubo de acesso, de aço ou alumínio, inserido verticalmente no solo) em que os nêutrons rápidos são emitidos, penetrando radialmente no solo, onde se encontram vários núcleos atômicos com os quais colidem elasticamente, perdendo energia cinética. Esta perda é máxima quando o nêutron bate com uma partícula de massa similar à sua. Assim, quando os nêutrons rápidos colidem com os núcleos de hidrogênio da água do solo, esses nêutrons perdem sua máxima energia formando, ao redor da fonte radioativa, uma nuvem de nêutrons moderados (ou termalizados) os quais são captados pelo detector, geralmente constituído de BF_3 (Trifluoreto de boro) e assim, quando um nêutron moderado ou lento encontra $^{10}_5\text{B}$ e é absorvido, uma partícula de He é emitida, criando um pulso elétrico. Este pulso, por sua vez, é enviado, através de um cabo, ao medidor, onde uma leitura é registrada. Quanto mais hidrogênio no solo (mais água) mais nêutrons rápidos são moderados, maior o número de pulsos enviados ao medidor e maior a leitura.

As principais vantagens do método são: permitir a obtenção de valores de umidade do solo no mesmo ponto e a qualquer tempo sem deformar o solo, ser rápido e preciso, apresentando a possibilidade de alta periodicidade de medição, de fácil manejo e relativamente barato e poder ser conectado a registradores, possibilitando leituras contínuas no campo. (TORRES & GONZÁLES, 1993). Entretanto, o uso da sonda de nêutrons exige um treinamento especial para seu manuseio, principalmente pela presença de fontes radioativas (SELKER et al., 1993; COELHO & Or, 1996).

Os sensores tipo TDR podem ser utilizados em substituição a sonda de nêutrons, já que eles não utilizam fonte nuclear, podem ser instalados em várias profundidades e em vários locais no solo, além de fazerem leituras automatizadas, sem a necessidade de intervenção do usuário. Entre as desvantagens desses sensores pode-se citar: alto custo de aquisição e necessidade de calibração para diferentes tipos de solo (LIMA et al., 2006).

Souza et al. (2002) afirmam que o desafio de se conhecer e utilizar as informações de umidade do solo, de forma correta, pode resultar em configurações de sondas com vantagens

adicionais como, por exemplo, a possibilidade de leituras pontuais de umidade, tornando a técnica de TDR e FDR ainda mais atrativa como ferramenta capaz de auxiliar em estudos que envolvam a dinâmica da água no solo.

Colares et al. (2006) utilizaram sensores tipo TDR em áreas com cultivo de feijão para estimar a umidade do solo na profundidade de 0 a 0,48m, onde se desenvolve o sistema radicular do cultivo. As análises dos resultados indicaram que as variações na umidade do solo estão ligadas aos níveis de compactação impostos e aos ciclos de umedecimento e secagem, conseqüentes das precipitações e estiagens.

Bruno et al. (2006) utilizaram sensores do tipo de FDR para determinar a variação da umidade do solo em função da sazonalidade e da escala de tempo, em uma área de floresta localizada na região amazônica. Os autores concluíram que na estação seca a umidade permaneceu praticamente constante, apresentando pequenas variações apenas na superfície e nas camadas mais profundas do solo. Na estação chuvosa a umidade variou em função das primeiras chuvas e os menores valores de umidades foram observados nas camadas intermediárias do solo. Os referidos autores observaram também uma diminuição significativa na estação seca de um ano para o outro, o que influenciou na variação da umidade do solo.

Freitas & Rocha (2008) mediram a umidade do solo em uma área de pastagem e em uma área de floresta utilizando sensores de FDR e observaram que a umidade do solo na área de pastagem apresentou uma variação maior do que na área de floresta.

Rossato et al. (2002) avaliaram a média mensal da umidade do solo nas regiões brasileiras durante o período de 1971- 1990. Os resultados permitiram avaliar quais regiões apresentaram condições favoráveis e desfavoráveis à reserva de água no solo, constatarando que a variação do armazenamento de água no solo para todo o território brasileiro está diretamente associada ao regime pluviométrico de cada região.

Sentelhas et al. (1999) estudaram a variação mensal de armazenamento de água no solo em várias localidades do Brasil, em uma macro-escala e observaram que as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentaram valores mínimos de armazenamento de água no solo durante os meses de junho a setembro.

As florestas retiram do solo mais umidade do que as pastagens ou o solo nu. Experimentos em uma área de floresta na Costa Rica durante a época seca mostraram que a umidade no solo sob a floresta é relativamente inferior à umidade no solo em uma clareira, ao final de 40 dias de estiagem, em uma camada de 70 cm de solo (PARKER apud BRUIJNZEEL, 1996). Experimentos na Amazônia revelam que as florestas retiram água de

profundidades superiores a 3,6 metros, e a variação anual da umidade do solo sob florestas é superior à variação observada em pastagens ou solo nu (HODNETT et al., 1996).

A variação de umidade dentro do perfil de solo pode ser contabilizada através do balanço de massa, no qual são computadas as entradas e saídas de água no sistema. De modo bastante simplista, o balanço de água no solo pode ser resumido pela Equação 3.3.

$$P - E_{\text{int}} - E_s - E_p - Q_{\text{saída}} + Q_{\text{entrada}} - \Delta\theta = 0 \quad (3.3)$$

onde P é a precipitação (chuva, neve ou neblina), E_{int} é a água interceptada pelo dossel que posteriormente é evaporada, E_s é a evaporação do solo, E_p é a transpiração pelas plantas, $Q_{\text{saída}}$ é o escoamento de água para fora do sistema, Q_{entrada} é o escoamento de água para dentro do sistema (fluxo ascendente, escoamento superficial e subsuperficial de elementos à montante) e $\Delta\theta$ é a variação do estoque de água no solo. O termo $P - E_{\text{int}}$ é geralmente chamado de precipitação líquida, ou seja, refere-se a parte da precipitação que realmente chega à superfície do solo. A soma $E_{\text{int}} - E_s - E_p$ é denominada evapotranspiração. A equação de balanço pode ser utilizada para eventos simples de precipitação ou para uma série temporal, embora as escalas temporais de cada um dos processos possam ser consideravelmente diferentes (RENNÓ, 2003).

3.3.1 Valores Característicos da Umidade do Solo

Capacidade máxima de retenção

Capacidade máxima de retenção é definida como a capacidade máxima de água que um solo pode absorver. Ocorre quando o solo atinge sua saturação máxima, em que todos os poros, grandes e pequenos, estão preenchidos com água. Em condições normais, isso só ocorre em curtos períodos de tempo (3 a 6 dias) porque a água que se encontra nos poros grandes (macroporos) tende a escoar por gravidade. Nessa situação, a tensão matricial é igual a zero.

Capacidade de campo

Capacidade de campo é definida como o teor de umidade no qual encontra-se o solo quando toda água livre estiver escoando, permanecendo apenas a água capilar e a água

higroscópica. Quando isso ocorre, presume-se que a água livre liberou os macroporos (que passam a ser ocupados pelo ar) e que a água do solo encontra-se apenas nos microporos ou capilares. É desta fonte que os vegetais ainda conseguem absorverem a umidade de que necessitam.

A capacidade de campo é um parâmetro que mede a capacidade de um solo de reter água. Teoricamente significa a umidade que um dado solo sustenta sob a ação da gravidade.

Ponto de murchamento

Ponto de murchamento é definido como o teor de umidade no solo a partir do qual as plantas não conseguem mais retirar água para sua sobrevivência. Não havendo incorporação de água ao solo (nem por chuva nem por irrigação), com a evaporação da água dos solos e transpiração das plantas, ocorre a retirada da água do solo. Se não ocorrer a reposição do depósito de água do solo (armazenamento), em alguns dias as plantas iniciam um processo de murchamento. O processo de murchamento, a princípio é parcial (só nas horas mais quentes, e durante o dia).

Se a redução/deficiência de água do solo persistir, o murchamento torna-se permanente (a planta não se refaz mais). Esse teor de umidade é definido como coeficiente ou ponto de murchamento. Isso significa que toda a água disponível (capilar) foi retirada. Entretanto, ainda existe água no solo, a água higroscópica, mas esta é retida a pressões (tensões), superiores às forças de sucção das raízes das plantas.

O ponto de murchamento permanente (PMP) é a umidade do solo na qual as plantas não mais conseguem manter suas folhas túrgidas. Considera-se que PMP ocorre a uma tensão de 15 atm.

O ponto de murchamento e a capacidade de campo constituem dois valores característicos de umidade do solo de grande interesse para o controle da irrigação. Considerando-se o solo como um reservatório de água para as plantas, o ponto de murchamento representa reservatório vazio e a capacidade de campo representa o reservatório cheio.

Coefficiente Higroscópico

Quando o solo está sob ação de uma atmosfera essencialmente saturada por vapor d'água (98% de umidade relativa) o solo perderá a água retida em estado líquido, inclusive

dentro dos microporos. A água remanescente ficará associada às superfícies das partículas do solo, especialmente com os colóides, como umidade adsorvida. Nessas condições a água é retida com tanta intensidade que grande parte dela é considerada não-líquida, podendo movimentar-se apenas na fase de vapor. O teor de umidade do solo neste ponto é denominado coeficiente higroscópico ou umidade higroscópica. A Figura 3.7 ilustra as principais características da umidade no solo.

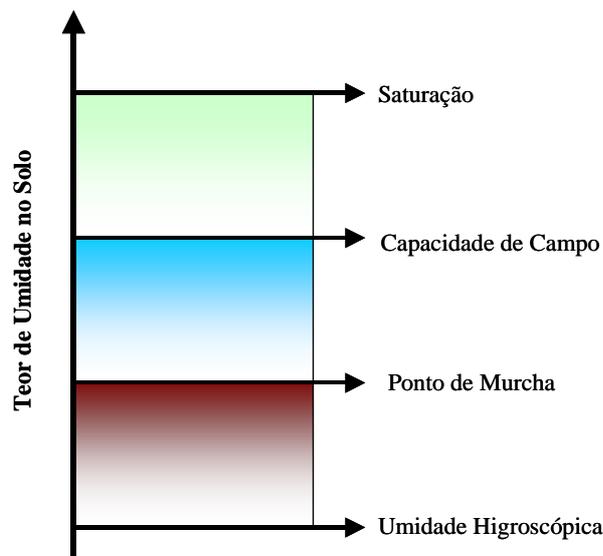


Figura 3.7: Características da umidade no solo.

3.4 Monitoramento do Lençol Freático

3.4.1 Sondagem

A sondagem é uma técnica que consiste em investigar o subsolo, fundamental para identificação do perfil do solo, fornecendo informações sobre a resistência das camadas subterrâneas, sua composição e nível do lençol freático.

Na prática, existe um amplo espectro de tipos de sondagens e ensaios, que devem ser escolhidos e utilizados conforme a situação do terreno e o objetivo da investigação. Os métodos mais utilizados são sondagens a trado, poços de inspeção, galerias, sondagem a percussão, sondagem rotativa e sondagem usando a perfuração tipo rotopercussão.

3.4.1.1 Sondagem a Trado

A sondagem a trado é um método de investigação geológico-geotécnica que utiliza como instrumento o trado.

O trado serve para coletar amostras deformadas, determinar a profundidade do nível d'água e permitir a identificação dos horizontes do terreno. Permite também reconhecer a estratigrafia em pequenas profundidades, em geral até 2 m, mas é possível emendar as hastes do trado e coletar amostras até 5-6 m profundidade. Nesses casos, o serviço tende a ser demorado.

Os trados são classificados em manuais e mecânicos. O trado manual é girado e pressionado para baixo no solo por meio de uma manivela em T na haste superior. A Figura 3.8 mostra os principais tipos de trado manual.

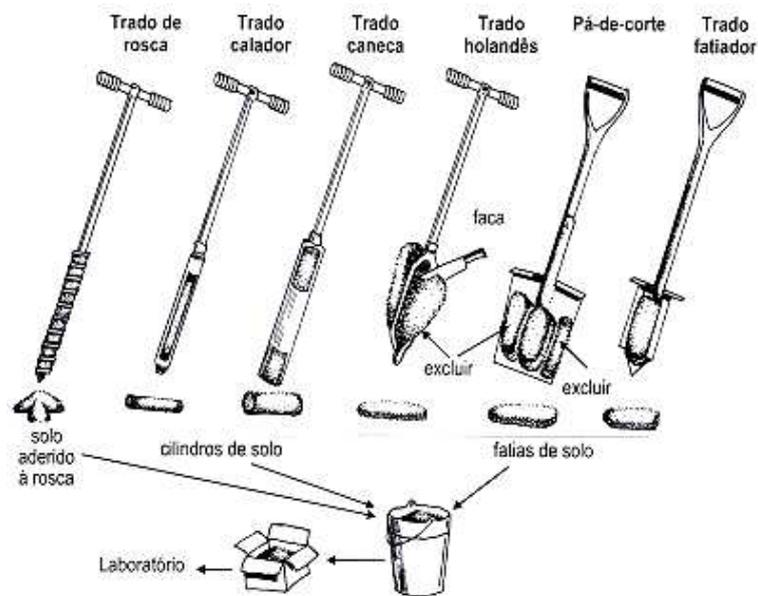


Figura 3.8: Tipo de trado manual.

Fonte: IPNI, 2009.

Os trados mecânicos possuem um motor e são encontrados em veículos ou na forma de acessório usado para a sondagem à percussão. A energia exigida para girar o trado depende de seu tipo e tamanho e do tipo de solo a ser penetrado. A pressão descendente no trado pode ser aplicada hidraulicamente, mecanicamente ou pelo peso próprio. Os tipos de trados mecânicos mais comuns são o trado helicoidal (trado de hélice) e o trado de caçamba.

3.4.1.2 Sondagem a Percussão

O método mais comum para investigação geotécnica do subsolo é o de sondagem à percussão com circulação de água, acompanhado pelo ensaio normalizado de penetração (SPT – *Standart Penetration Test*) ou sondagem de simples reconhecimento do solo. Este método fornece um perfil com descrição das camadas do solo e a resistência oferecida por elas à penetração de um amostrador normatizado. Pode fornecer, ainda, a profundidade do nível de água estático (MARAGON, 2009).

As sondagens a percussão são perfurações capazes de ultrapassar o nível freático e atravessar solos relativamente compactos ou duros. Portanto, não ultrapassam matacões e blocos de rochas e têm dificuldade de atravessar saprólitos (solos residuais jovens) muito compactos ou alterações de rocha (VELLOSO & LOPES, 2004).

O SPT é um ensaio de penetração padronizado, usado em geotecnia com o propósito de se obter índices de resistência à penetração do solo. O equipamento de perfuração consiste em uma torre de elevação (tripé), em uma unidade de força e em um guincho que possui um leve cabo de aço que passa por uma roldana no topo da torre de elevação, conforme mostra a Figura 3.9. Trata-se de um ensaio realizado a cada metro perfurado e consiste na cravação de um peso de 65 Kg, caindo livremente de uma altura de 0,75 m. O peso cai sucessivamente sobre a haste até uma penetração de 0,45 m do barrilete no solo. A resistência do solo à penetração será dada a partir do número de golpes necessários à cravação dos 0,30 m finais do barrilete.

A primeira aplicação atribuída ao SPT consiste na simples determinação do perfil de subsolo e identificação tátil-visual das diferentes camadas a partir do material recolhido no amostrador-padrão. A classificação do material é normalmente obtida combinando a descrição do testemunho de sondagem com as medidas de resistência à penetração, normatizada pela NBR 6484/80 como mostra a Tabela 3.1 (SCHNAID, 2000).

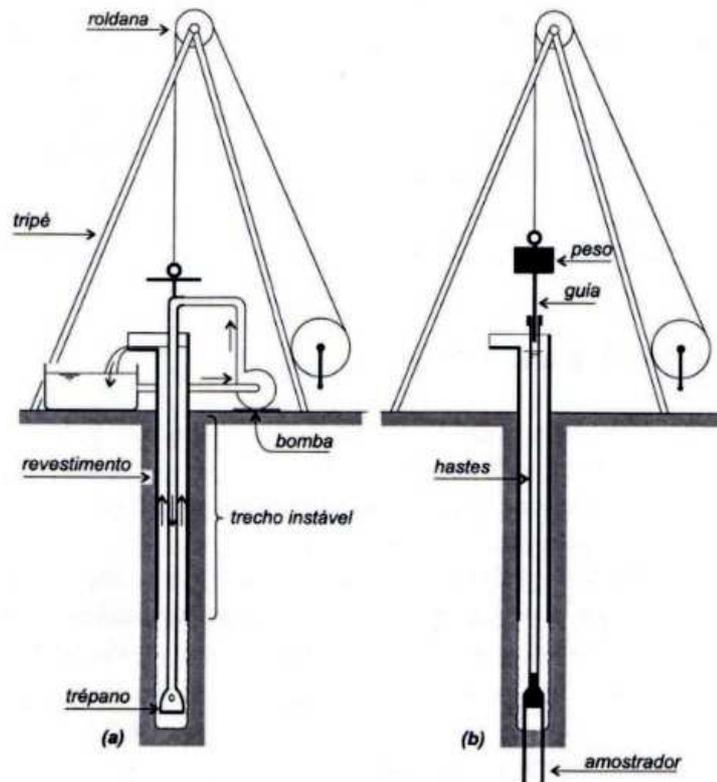


Figura 3.9: Etapas de sondagem à percussão.

(a) sondagem com circulação de água (b) sondagem simples SPT

Fonte: Velloso e Lopes, 2004.

Tabela 3.1: Classificação do solo.

Solo	Índice de resistência à penetração (N)	Compacidade/ Consistência
Areia e Silte Arenoso	≤ 4	Fofa (o)
	5-8	Pouco compacta (o)
	9-18	Medianamente compacta (o)
	19-40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Argila e Silte Argiloso	≤ 2	Muito mole
	3-5	Mole
	6-10	Média (o)
	11-19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

Fonte: NBR 6484/80.

3.4.2 Poço de observação

Os poços de observação são perfurações de pequeno diâmetro, da ordem de 2 a 4 polegadas, feitas especialmente para observar a variação do nível do lençol freático, permitindo o monitoramento do mesmo. Suas paredes em geral não são revestidas ou impermeabilizadas. Os poços são facilmente perfurados à mão com um trado especial e se aprofundam um pouco além do nível freático (da ordem de um metro ou menos). Entretanto, devido à sua simplicidade podem sofrer obstruções e outros efeitos destrutivos que os inutilizam, especialmente se o solo for instável. Assim, convém tomar certos cuidados a fim de preservar a sua funcionalidade por um tempo prolongado. A Figura 3.10 mostra o esquema de um poço de observação com certos cuidados recomendáveis (SANTOS, 2009).

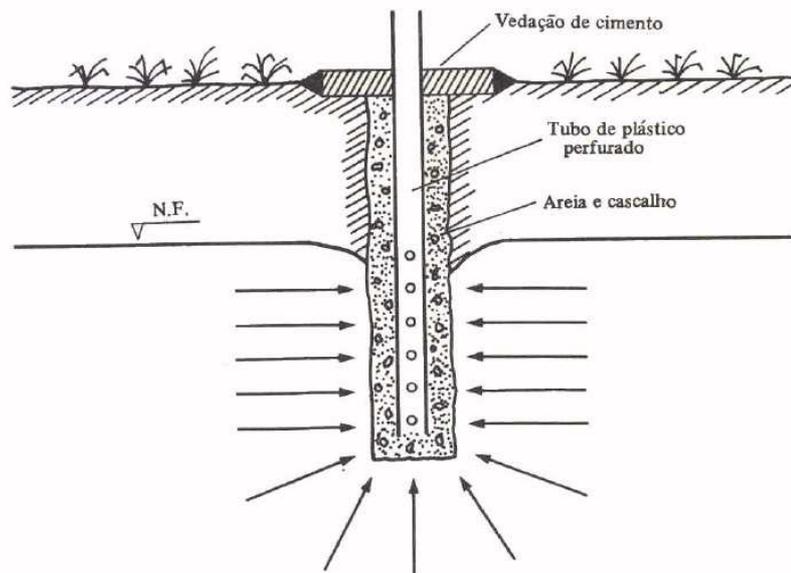


Figura 3.10: Esquema de um poço de observação.

Fonte: SANTOS, 2009.

3.4.3 Piezômetro

Os piezômetros são tubos, usualmente de 1 a 2 polegadas, abertos apenas nas extremidades, introduzidos no solo até a profundidade na qual se deseja medir a carga ou pressão hidráulica. Portanto, de acordo com Werge (2008), o piezômetro é um furo que permite sensoriar a carga hidráulica em determinado ponto do sistema de fluxo. O nível de

água se eleva no tubo até corresponder à carga hidráulica existente na sua extremidade inferior.

3.5 Bioma Cerrado

De acordo com o IBGE (2004) o bioma cerrado é a segunda maior formação vegetal do Brasil, superado apenas pela floresta amazônica. Ocupa uma área de 2.036,448km², o que equivale a 23,92% do território brasileiro e abrange os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Piauí, o Distrito Federal, Tocantins e parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, São Paulo, Paraná e Rondônia. Dependendo do seu adensamento e condições edáficas, pode apresentar mudanças diferenciadas denominadas de Cerradão, Campo Limpo e Cerrado, entremeadas por formações de florestas, várzeas, campos rupestres e outros. O cerrado é composto basicamente por vegetação arbórea, arbustiva e ervas.

É cortado por três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Bacia Amazônica, Paraná-Paraguai e São Francisco), com índices pluviométricos regulares que lhe propiciam biodiversidade.

Em função de sua localização, o cerrado compartilha espécimes com a maioria dos biomas brasileiros (floresta amazônica, caatinga e floresta atlântica). Devido a esse fato possui uma biodiversidade comparável a da floresta amazônica. Contudo, devido ao alto grau de endemismo, cerca de 45% de suas espécies são exclusivas de algumas regiões, e a ocupação desordenada e destrutiva de sua área faz com que seja considerado o ecossistema brasileiro que mais sofre agressões por parte do "desenvolvimento" (CORREA, 2004).

3.5.1 O Comportamento Hidrológico do Cerrado

De acordo com Eiten (1972) o cerrado possui vegetações do tipo xeromórfica, que não sofrem com a escassez de água no ambiente onde vegetam e se adaptam a um ambiente seco. Em virtude disso, a vegetação do cerrado precisa de solos muito profundos, em que não ocorra acúmulo ou saturação de água durante a estação úmida, pois esse tipo de vegetação não tolera solos saturados. Com isso, o lençol freático tem que ser profundo, preferencialmente a 3 m de profundidade ou mais. Observa-se que em locais em que o lençol freático está mais próximo da superfície, o cerrado é substituído por florestas ou campos. As raízes das plantas

arbóreas e arbustivas buscam atingir as camadas de solo imediatamente acima do lençol freático, onde existe umidade suficiente para permitir a transpiração ao longo da época seca.

Quando as duas condições acima são satisfeitas, isto é, em regiões de solo profundo e com lençol freático profundo, as formas de cerrado predominantes são: o cerrado e o cerradão, que apresentam maior densidade arbórea. À medida que o solo vai se tornando mais raso, o cerrado dá lugar a formas menos densas como o campo sujo e o campo cerrado. Em locais em que o lençol está muito próximo da superfície o cerrado dá lugar ao campo ou a floresta ou mata de galeria.

Alguns solos do cerrado são tão profundos e o lençol freático está tão distante da superfície que uma lâmina equivalente a vários anos de chuva pode ser acumulada no solo.

Durante a época seca a camada de solo mais superficial (cerca de 2 m) seca completamente, ficando abaixo do ponto de murcha, fazendo com que a vegetação mais baixa (capim, ervas, gramíneas) seque, e as folhas morram e se desintegrem. A vegetação arbórea e arbustiva é parcialmente decídua, isto é, algumas espécies perdem suas folhas, outras não, e outras ainda perdem apenas parte de suas folhas. As folhas que permanecem nas plantas seguem transpirando ao longo de toda a estação seca.

Ao contrário da vegetação do campo, da mata e da caatinga, no cerrado existem algumas espécies que não têm a capacidade de restringir a transpiração nas horas mais quentes do dia, pelo fechamento rápido de estômatos.

Apesar de algumas plantas apresentarem a capacidade de seguir transpirando ao longo da época seca, é certo que a transpiração do conjunto da vegetação é menor durante esta época.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande (Figura 4.1) está localizada na região centro-sul do município de Palmas-TO, entre as coordenadas geográficas $10^{\circ}10'33''$ e $10^{\circ}25'18''$ de latitude sul e $48^{\circ}03'57''$ e $48^{\circ}23'03''$ de longitude oeste de Greenwich. Possui uma área de 46.307,31 há, o que representa 19,1% da área total do município, sendo que 73,67% de sua área está inserida na Área de Proteção Ambiental da Serra do Lajeado (UNITINS, 1999).

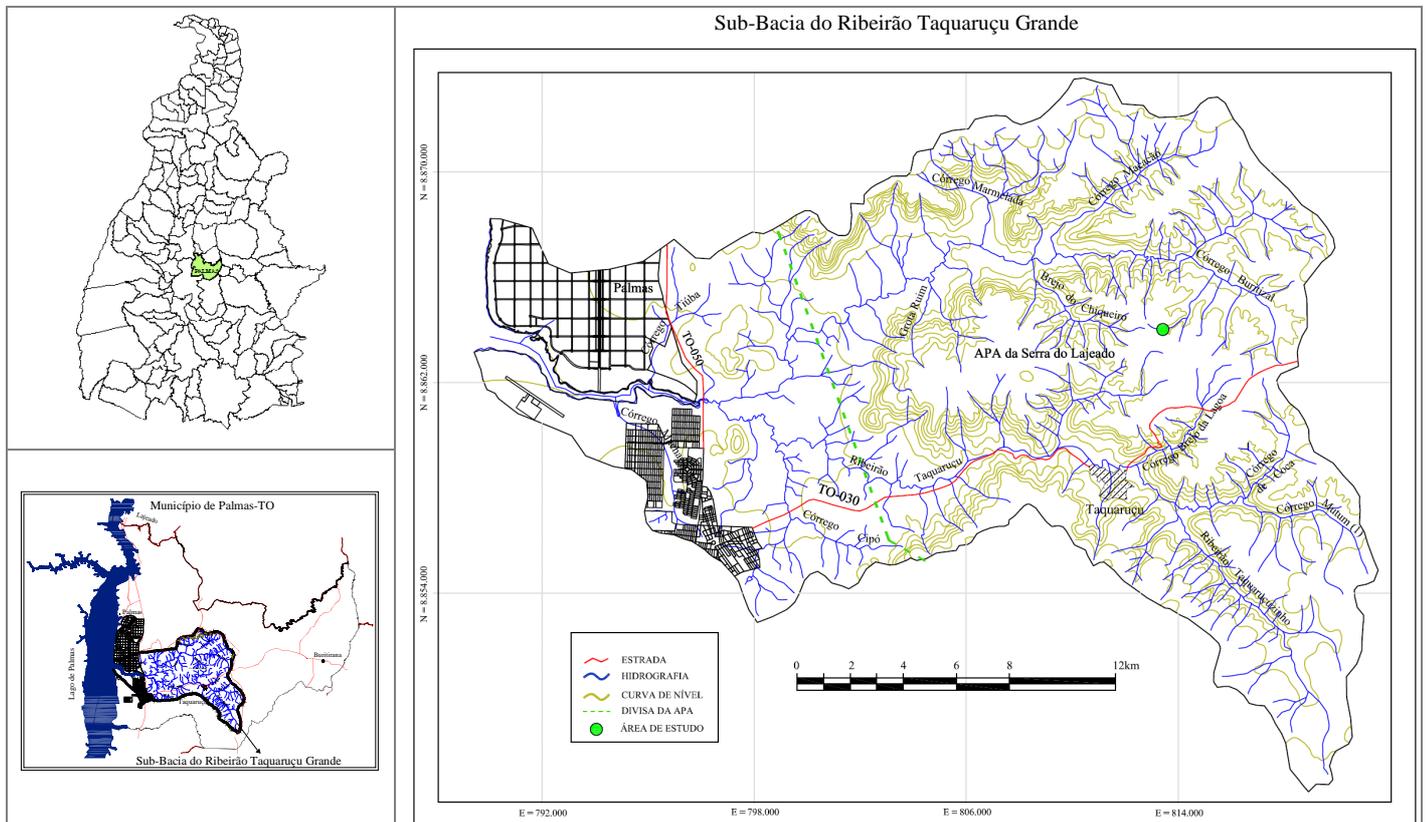


Figura 4.1: Localização geográfica da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande e da área de estudo.

O presente trabalho foi desenvolvido em uma das micro-bacias afluentes do Córrego Buritizal, pertencente à sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, localizada em uma área rural próxima ao distrito de Taquaruçu, município de Palmas-TO. A micro-bacia em estudo está localizada entre as latitudes $10^{\circ}15'33''$ e $10^{\circ}16'16''$ S, e as longitudes $48^{\circ}07'56''$ e

48°08'47" Wgr, à uma altitude média de 616 metros, distante aproximadamente 42 km da capital do Estado do Tocantins, possuindo uma área de 104,7360 ha.

A área de estudo foi escolhida em função de suas dimensões e variação na paisagem. Optou-se por uma área com dimensões reduzidas para que se pudesse caracterizá-la com maior precisão em todos os seus aspectos. A micro-bacia em questão possui paisagens que variam de pastagem/cerrado ralo a matas de galeria, possibilitando estudos comparativos entre as mesmas.

Além disso, outros fatores contribuíram para a escolha da área de estudo:

- O fato da micro-bacia ser afluente do Córrego Buritizal o qual é responsável pelo abastecimento de água do município de Palmas-TO;
- Estar localizada aproximadamente 3,5km Fazenda Ecológica, o que contribui para a segurança da área;
- Proximidade ao distrito de Taquaruçu. A área está a apenas 6 quilômetros do distrito de Taquaruçu, que se localiza a cerca de 42 quilômetros do centro de Palmas-TO.

Outro fator importante para a escolha da área de estudo foi a autorização do proprietário da área para se realizarem coletas e instalações dos equipamentos de monitoramento.

Visando avaliar o comportamento hidrológico da micro-bacia estudada além de compreender as suas características, se faz necessário compreender também as características gerais da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande. A seguir são descritas as características de ambas as bacias.

4.1.1 Geologia

De acordo com o mapeamento feito por TOCANTINS (2004), são encontrados os seguintes ambientes geológicos na sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande:

- **Formação Pimenteiras:** composta de argilitos, siltitos, folhelhos e arenitos finos;
- **Suíte Granítica Ipueiras:** composta de granitos e eventuais rochas vulcânicas ácidas associadas;
- **Associação Ortogranulítica:** pertencente ao Complexo Granulítico Porto Nacional;

- **Suíte Metagranítica Matança:** caracterizada por apresentar batólito constituído de biotita, sienogranitos, granitos porfiroblásticos e diques;
- **Associação de Rochas Supracrustais:** formada por gnaisses aluminosos, kinzigitos e gonditos;
- **Aluvião:** sedimentos aluvionares inconsolidados;
- **Cobertura Detrito:** Laterítica;
- **Formação Serra Grande:** encontrada numa área bem reduzida, no extremo leste, composta de arenitos arcoseanos grosseiros com níveis e camadas conglomeráticas siltíticas e argilitíticas.

Com base nessas características avalia-se que a geologia da micro-bacia do Córrego Buritizal seja composta, pela formação Pimenteiras, a qual é constituída de argilitos, siltitos, folhelhos e arenitos finos.

4.1.2 Geomorfologia

A sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande insere-se em duas unidades geomorfológicas: a Depressão do Tocantins e o Planalto Residual do Tocantins, segundo a classificação do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981).

- **Depressão do Tocantins:** corresponde ao corredor deprimido do vale do rio Tocantins, com relevos de dissecação suave e predomínio das formas tabulares, com altitudes entre 200 e 300 metros, e é sub-dividida em baixo terraço e planície de inundação; terraços; colinas amplas e rampas; colinas e morrotes; e morros e morrotes.

- **Planalto Residual do Tocantins:** representam as diversas serras (do Lajeado, do Carmo, Malhada Alta, etc.) que ocorrem nesta região, com cota média de 500 m, atingindo, nas bordas ocidentais, 600 m. É sub-dividido em escarpas e espigões digitados; morros muito dissecados; e colinas e morrotes de cimeira.

A micro-bacia em estudo insere-se na unidade geomorfológica do Planalto Residual do Tocantins, sendo composta de colinas e morrotes de cimeira.

As colinas e morrotes de cimeira geralmente possuem topos de serras predominantemente compostas por arenitos e siltitos de formação Pimenteiras, apresentando as formas tabulares, mais ou menos extensas de acordo com a densidade de drenagem. Os

vales são abruptos e encaixados, mas os topos são planos, e criam junto às áreas de menor extensão e na borda das escarpas, zonas muito dissecadas.

4.1.3 Pedologia

De acordo com TOCANTINS (2004), que por sua vez utilizou as bases de informações do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981) e do Atlas do Tocantins (TOCANTINS, 2003), são encontrados na sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande os seguintes agrupamentos de solos:

- Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e álico: esta classe é constituída por solos profundos, bem acentuadamente drenados, muito permeáveis, porosos e com elevado grau de intemperização;
- Solos Concrecionários distróficos e álicos: são solos minerais, rasos a medianamente profundos, bem a moderadamente drenados;
- Solos Litólicos distróficos: esta unidade compreende solos minerais, rasos ou muito rasos, pouco desenvolvidos, geralmente constituídos de perfis com um horizonte A diretamente sobre a rocha matriz (R) ou sobre um horizonte C, ou ainda sobre um B incipiente;
- Latossolo Vermelho-Escuro distrófico: são solos minerais, acentuadamente drenados, muito bem desenvolvidos e possuem como principal característica a ocorrência de um horizonte B latossólico;
- Areias Quartzosas distróficas e álicas: estão agrupados nesta classe solos areno-quartzosos que possuem 95% ou mais da fração areia constituídos por quartzo e/ou outros minerais de difícil intemperização;
- Solos Hidromórficos Gleyzados eutróficos, distróficos e álicos: são solos pouco desenvolvidos, sob grande influência do lençol freático próximo à superfície.

Com base nas características descritas acima e nos estudos realizados por Santos (2000), os solos da micro-bacia do Córrego Buritizal são classificados como Latossolos Vermelho-Amarelo com associação com Plintossolos Pétricos que são solos minerais, rasos a medianamente profundos, bem a moderadamente drenados possuindo como característica

fundamental a ocorrência de grande quantidade de concreções ferruginosas do tamanho de cascalho e calhaus.

4.1.4 Declividade

A sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande possui declividade pertencente à classe D, caracterizada por declividade maior que 15% e igual ou inferior a 30%. Possui predominância de áreas inclinadas a fortemente inclinadas, cujo escoamento superficial é rápido a muito rápido na maior parte dos solos. Podem ser trabalhados mecanicamente apenas em curvas de nível por máquinas simples de tração animal ou com limitações e cuidados especiais por tratores de esteira. Em terras nesta situação não é recomendada a prática de agricultura intensiva. São mais indicadas para pastagem natural e/ou silvicultura (TOCANTINS, 2003). A micro-bacia de estudo apresenta características gerais semelhantes à da sub-bacia.

4.1.5 Clima

As condições climáticas da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande possuem uma relativa homogeneidade por sua continentização, seu aspecto geográfico e a constância da massa de ar sobre a região. A região, encontra-se em pleno domínio da zona climática tropical. O clima corresponde ao das savanas tropicais (Aw) da classificação de Köppen, caracterizado pela presença de um verão úmido-seco e um total de chuvas no mês mais seco inferior a 60mm. A temperatura média fica entre 26° e 27°C durante o verão, e cerca de 23°C no inverno. Os ventos são de fracos a moderados e a umidade do ar é de 76% (RANZANI, 2002).

Segundo a classificação climática de Thornthwaite a região apresenta dois tipos climáticos: o clima B1wA'a' (úmido) e o clima C2wA'a' (subúmido).

- **B1wA'a'**- Clima úmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial apresentando uma variação média anual entre 1.400 e 1.700 mm, distribuindo-se no verão em torno de 390 e 480 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada.
- **C2wA'a'** - Clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1500 mm, distribuindo-se no verão em

torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com a temperatura mais elevada.

Com base nas características da região, avalia-se que a micro-bacia do Córrego Buritizal possui o clima C2wA'a' conforme a classificação climática de Thornthwaite. De acordo com Köppen, o clima da área de estudo é classificado também como “Aw” – Tropical de savana com inverno seco, de três ou quatro meses.

4.1.6 Hidrografia

A sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande pertence à região hidrográfica do Tocantins-Araguaia de acordo com a classificação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). TOCANTINS (2003) classifica a bacia como pertencente à região hidrográfica T1, correspondente à Bacia do Rio Tocantins.

A sub-bacia hidrográfica se encontra inserida parcialmente em uma APA (Área de Preservação Ambiental), estando a maioria de suas nascentes situadas em áreas bem preservadas e sem intervenção antrópica. Já na região média e na foz da sub-bacia existem algumas regiões de agricultura e pecuária, bem como algumas estradas que cortam a sub-bacia em locais de encostas.

A sub-bacia é responsável pelo abastecimento de água de aproximadamente 80% da população do município de Palmas, tendo os córregos atualmente aproximadamente 38% da sua vazão comprometida, e com previsões de aumento para 54% em 2010 e de 99% em 2025 (SANEATINS, 2007).

A estrutura de drenagem da bacia é composta por ravinas, canais, tributários e o ribeirão principal. As nascentes localizam-se principalmente na encosta das serras e, em menor quantidade, nos limites das chapadas apresentando cotas de altitude elevada (UNITINS, 1999).

Durante o período chuvoso, todas as nascentes, tanto as das chapadas quanto as dos vales fornecem água para os mananciais, sendo que no período de estiagem esta vazão é reduzida, observando-se que muitas das nascentes das chapadas chegam a cortar o fornecimento de água para seus mananciais (UNITINS, 1999). Nas proximidades das nascentes os cursos d'água são intermitentes e perenes nos médios e baixos cursos d'água (SOUZA, 1998).

A sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande faz parte das 13 bacias que são afluentes diretas do rio Tocantins, possui aproximadamente 36 km no sentido leste-oeste, e seus principais contribuintes pela margem esquerda são o Ribeirão Taquaruçuzinho, o Córrego Machado e o Córrego Buritizal, e pela margem direita são os Córregos Macacão e o Tiúba (SANTOS, 2000). É considerada uma sub-bacia de quarta ordem e com um padrão de drenagem sub-dentrítico (UNITINS, 1999).

A micro-bacia de estudo é formada por dois pequenos córregos perenes, porém com trechos intermitentes a medida que se aproxima de suas cabeceiras, e um efêmero. Esses corpos hídricos deságuam no Córrego Buritizal.

4.1.7 Vegetação

Segundo classificação adotada pelo RADAMBRASIL a vegetação natural da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande é constituída por Savana-Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque (Campo Cerrado), Savana Arbórea Aberta (Cerrado Sentido Restrito), Savana Arbórea Densa ou Savana Florestada (Cerradão) e Savana Estacional Semidecidual, Floresta Semidecidual Aluvial ou Floresta-de-Galeria e Veredas. A distribuição espacial dessas vegetações está associada à configuração topográfica da região (TOCANTINS, 2004).

A Savana Gramíneo-Lenhosa e Savana Parque (Campo Cerrado) são formações essencialmente campestres naturais e também antropizadas pelo uso com o pastoreio extensivo, também conhecidas como campos rupestres. Possuem vegetação com altura de 0,20 a 1,50 metros, com predominância de gramíneas e com alguns testemunhos esparsos de plantas lenhosas baixas (arbustos).

A Savana Arbórea Aberta (Cerrado Sentido Restrito) é caracterizada por várias formações herbáceas intercaladas por pequenas plantas lenhosas até arbóreas. Apresentam uma fisionomia bem característica, constituída por espécies de porte arbóreo-arbustivo ou arbustivo, com substrato rasteiro principalmente de gramíneas e ciperáceas. É composta de 3 estratos com dominância de vegetação herbácea e lenhosa. As arvoretas que integram esta formação (3 a 7 metros) são caracterizadas por se apresentarem com caules tortuosos, esgalhamento baixo, casca espessa e fendilhada, copas irregulares, folhas grossas, por vezes coriáceas.

A Savana Arbórea Densa ou Savana Florestada (Cerradão) é a formação clímax do tipo Savana Arbórea com um dossel de 7 a 15 metros, podendo chegar aos 18-20 metros para algumas espécies.

Em regiões de vales, escarpas e colinas é encontrada a Floresta Estacional Semidecidual, a qual apresenta uma formação arbórea alta, com porte de 15 a 20 metros, onde poucas são as espécies que não perdem as folhas na estação seca.

A Floresta Semidecidual Aluvial tem a fisionomia de floresta, com espécies de tronco retilíneo e altura em torno de 15 metros. Por se encontrar margeando os córregos e em ambiente com domínio de Savana é conhecida também com o nome de Floresta ou Mata de Galeria.

E de forma pontual há a presença de Veredas, sendo formações que apresentam como característica a presença dos buritis (*Mauritia vinifera*) e buritiranas (*Mauritia armata*), em ambientes de solos hidromórficos, lençol freático próximo à superfície, com formações campestres entremeadas de plantas lenhosas anãs. São encontradas principalmente próximas às nascentes e/ou margeando alguns córregos e ribeirões.

A vegetação da micro-bacia de estudo é formada por Savana Gramíneo-Lenhosa (Campos Rupestres) na sua maior parcela e há presença de formações florestadas às margens dos cursos d'água, formando as florestas ou matas de galerias, com espécies de tronco retilíneo e altura em torno de 15 metros.

A região de estudo é fortemente marcada pela presença de alguns arbustos, especialmente a Canela-de-ema (*Vellozia* sp), que possui galhos pontudos e ariscos e uma flor com seis pétalas contadas, azuladas ou lilases. A flor da Canela-de-ema morre quase tão rápido quanto nasce, durando de um a dois dias no máximo. As populações dessa espécie vêm sendo drasticamente afetadas pelas queimadas, muito comuns na região, sendo observados com frequência indivíduos mortos pelo fogo. A Figura 4.2 apresenta a vegetação típica da região, onde pode-se observar a ocorrência de Canela-de-ema ao longo de toda a área de campo rupestre. Ao fundo observa-se uma região de mata fechada caracterizada como mata de galeria, melhor ilustrada na Figura 4.3.



Figura 4.2: Vegetação típica da região.



Figura 4.3: Mata de galeria existente na área de estudo.

4.2 Caracterização e Instrumentação da Micro-bacia

Para efeito de caracterização e instrumentação da micro-bacia foram realizados trabalhos de campo e de laboratório, conforme procedimentos descritos a seguir. Os trabalhos de caracterização e instrumentação podem ser divididos em 3 etapas: i) *Caracterização geral da bacia* (delimitação da área de estudo, levantamento topográfico, confecção de mapas temáticos (mapa de curva de nível, mapa hipsométrico, mapa de uso e cobertura da terra, modelo digital do terreno); ii) *caracterização quanto ao tipo de solo* (perfis de sondagem e análises de solo); iii) *caracterização hidrológica* (instalações das estações meteorológicas e do pluviógrafo, análise do teor de umidade do solo, monitoramento da variação do lençol freático e fluxo d'água). A Figura 4.4 apresenta um fluxograma da seqüência utilizada no desenvolvimento da metodologia.

4.2.1 Levantamento Topográfico

O levantamento topográfico planialtimétrico da área da micro-bacia foi feito durante os meses de agosto e setembro de 2008, utilizando como referência as características definidas pela NBR 13.133 para levantamento planialtimétrico cadastral classe I. Foram levantados aproximadamente 2400 pontos notáveis de toda a área da bacia, além de mais alguns pontos no entorno da mesma, a fim de melhor definir seus divisores de água.

O levantamento planialtimétrico foi realizado com a finalidade de se obter a representação das informações planimétricas (x e y) e altimétricas (z -diferença de nível) da área da micro-bacia, fornecendo o maior número possível de informações da superfície representada.

Para a realização do levantamento topográfico, inicialmente demarcou-se uma poligonal fechada na área a ser levantada, materializando suas estações e determinando suas coordenadas e área pelo método de poligonação. Foram instalados 3 marcos de concreto bem distribuídos na área da bacia, a fim de efetuar o levantamento topográfico planialtimétrico da mesma. As Figuras 4.5a e 4.5b ilustram a execução do levantamento topográfico da área da bacia.

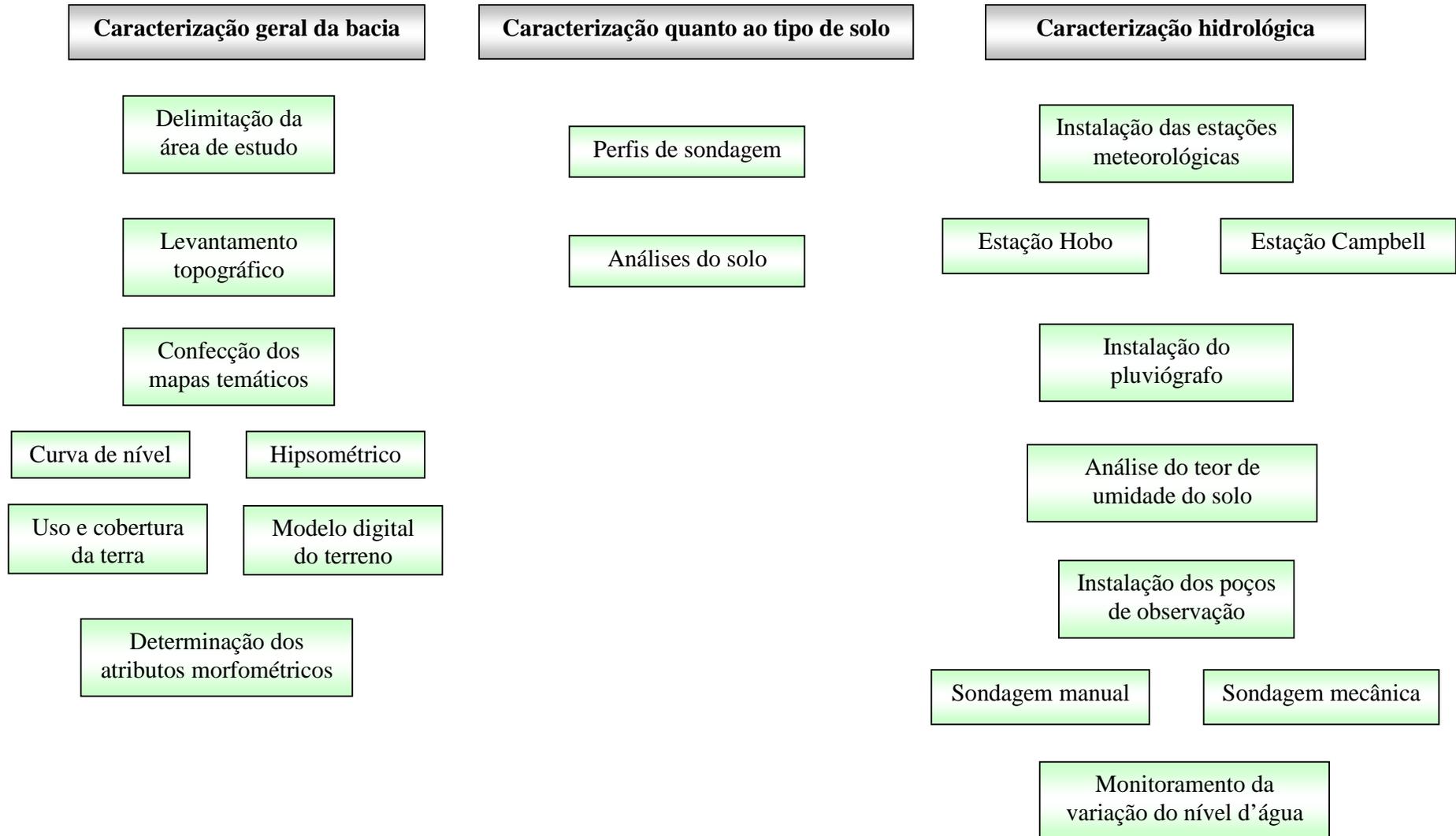


Figura 4.4: Fluxograma da metodologia.

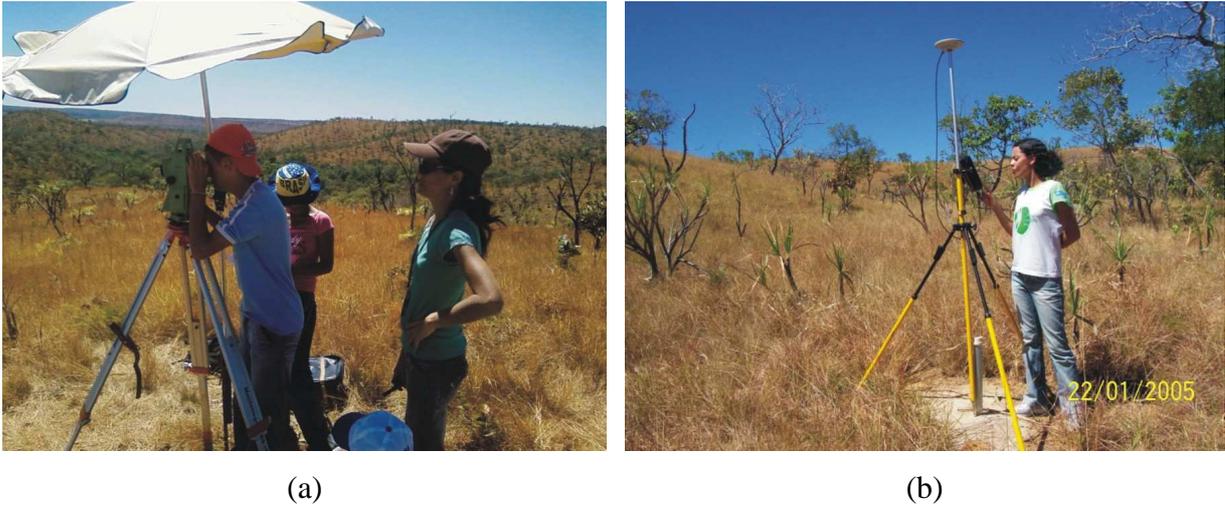


Figura 4.5: Execução do levantamento topográfico da micro-bacia.

(a) Estação Total (b) GPS Topográfico

Com a utilização da Estação Total Leica modelo TPS-400, foram levantados todos os pontos notáveis, obstáculos naturais e não-naturais dentro da área da micro-bacia utilizando o método topográfico trigonométrico.

Os marcos da poligonal foram georreferenciados utilizando-se o GPS Geodésico Sokkia modelo GSR-2600, com precisão de até 0,50m. A metodologia empregada foi o rastreamento diferencial estático com GPS, com rastreamento simultâneo do marco da poligonal, e um segundo posicionado em um marco referencial localizado na ETF-Palmas (20km da área), definindo assim o transporte de coordenadas, com precisões da ordem de 1:1.000.000 nas coordenadas tridimensionais (XYZ). Cada ponto da poligonal foi rastreado em intervalos de tempo variando de 30 a 60 minutos.

Algumas feições (estradas, hidrografia, trilhas, etc) foram levantadas com GPS de navegação marca Garmin, modelo Etrex, precisão de até 10m, a fim de serem utilizados como pontos de controle para o georreferenciamento da imagem de satélite.

Os poços de observação também foram levantados utilizando GPS topográfico marca Leica, modelo SR-20, com precisão de até 0,50m. A metodologia utilizada foi o rastreamento estático rápido, permanecendo em cada ponto cerca de 30 minutos. A exceção de dois poços de observação nos quais utilizou-se o GPS de navegação por estarem posicionados em locais de difícil acesso ou com pouca recepção do sinal GPS. A Figura 4.6 mostra os equipamentos utilizados durante o levantamento topográfico.

			
Estação Total Leica TPS-400	GPS Leica SR-20	GPS Garmin - Etrex	GPS Sokkia GSR-2600

Figura 4.6: Equipamentos utilizados no levantamento topográfico.

Fonte: Leica, Garmin e Sokkia (2009).

Os dados coletados pelos GPS Geodésico e Topográfico foram processados no software Topcon Tools 5.11.01, utilizando como referência o marco SAT-93240 da rede RBMC do IBGE, localizado na sede do INCRA, Palmas-TO. Os dados coletados pela Estação Total foram calculados utilizando o software Topograph 3.79, obtendo-se o perímetro da área, bem como os valores de cotas dos pontos representativos de seus vértices, utilizando como referência as coordenadas dos marcos levantados com o GPS Geodésico. Os resultados obtidos com os receptores GPS, no Datum WGS-84, foram processados e transformados para o Datum SAD-69 e projeção UTM.

Em virtude do GPS fornecer a altitude geométrica de um ponto, foi feita a correção da altitude do GPS e obteve-se a altitude ortométrica a qual é baseada no geóide que é a figura que mais assemelha-se com a forma da superfície terrestre.

Após o processamento dos dados do levantamento foi feita a delimitação e o cálculo da área e perímetro da micro-bacia no software Spring 4.3.

A partir dos dados do levantamento topográfico planialtimétrico foram geradas as curvas de nível de 5 em 5m no software Surfer 8, utilizando uma malha (grid) com equidistância de 50m. A suavização das curvas foi realizada utilizando a ferramenta “Spline Smooth” que usa um polinômio cúbico para cada ponto da grade em relação a seus vizinhos, gerando curvas mais suaves. É importante ressaltar que embora a técnica “Spline” altere os valores interpolados, é a que melhor representa a topografia da área, preservando os valores amostrados durante o levantamento topográfico.

Os mapas temáticos foram gerados a partir dos dados topográficos e da interpretação da imagem de satélite da área do mês de outubro de 2008. Efetuou-se o georreferenciamento da imagem de satélite obtida no software Google Earth no software Spring 4.3.

O georreferenciamento consistiu basicamente na coleta de pontos de controle facilmente identificáveis na imagem, nos pontos levantados e nas cartas topográficas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Foram utilizadas como referências a projeção UTM, datum SAD-69 e as coordenadas da imagem (linhas e colunas). Os dois diferentes sistemas de coordenadas foram relacionados através de uma transformação polinomial de segundo grau, que requer um mínimo de seis pontos de controle. Nesta coleta seguiram-se as recomendações de Mather (1987), que sugere o uso de no mínimo dez pontos de controle espalhados por toda a área de estudo e que apresentem resultados aceitáveis quanto ao erro. Portanto, foram utilizados 15 pontos de controle e obtendo-se um erro aceitável de 0,52 pixels.

O método de reamostragem utilizado no georreferenciamento da imagem foi o vizinho mais próximo, por ser o que melhor preserva o valor radiométrico da imagem original.

O modelo digital do terreno da micro-bacia foi realizado em vários softwares, porém os melhores resultados foram obtidos com o software Surfer 8.

A partir das curvas de nível geradas, foram confeccionados o mapa hipsométrico e o mapa de direção de fluxo.

O mapa de uso e cobertura da terra foi feito no software Spring 4.3, a partir da classificação visual da imagem de satélite da área utilizando os elementos de interpretação da imagem, tais como: tonalidade, tamanho, forma, textura, padrão, sombreamento e localização.

4.2.2 Determinação dos Atributos Morfométricos da Bacia

Após a delimitação da bacia foram obtidas diferentes características físicas, como: área, perímetro, comprimento da drenagem, largura média da bacia, altitude, amplitude topográfica e ordem do curso d'água.

A área, também denominada de área de drenagem ou área de contribuição, foi determinada a partir do cálculo da projeção horizontal da região contida entre seus divisores. O perímetro foi obtido a partir do cálculo do comprimento da linha divisória da bacia hidrográfica medida em sua planta baixa. O comprimento de um curso d'água é a distância medida ao longo do curso de água principal desde a seção de referência até o final do canal. O

comprimento da rede de drenagem foi obtido a partir do somatório dos comprimentos de todos os talwegues da bacia. A largura média foi calculada de forma indireta por meio da relação entre a área da bacia e a linha de fundo. Deve-se salientar que a linha de fundo é a distância medida ao longo do curso de água principal desde a seção de referência até o divisor da bacia.

A amplitude topográfica da bacia consiste na direção da elevação entre a altitude máxima e altitude mínima e representa o gradiente da bacia de drenagem, dando a impressão da movimentação topográfica da bacia e, conseqüentemente, fornece indicações sobre o padrão de fluxo e a importância de sedimentos transportados.

A ordem dos cursos d'água pode ser determinada seguindo os critérios introduzidos por Horton (1945) e Strahler (1957). Utilizou-se neste trabalho a classificação apresentada por Strahler, em que os canais sem tributários são designados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. A junção de um canal de dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste.

A base de dados e as análises foram geradas através do sistema de informações geográficas, utilizando-se os softwares Spring 4.3 e Surfer 8.

4.2.3 Instalação das Estações Meteorológicas

Estudos realizados por Tocantins (2004) evidenciam a necessidade da instalação de estações meteorológicas em pontos brancos da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande, classificados como aqueles mais distantes do exutório e suscetíveis a poucas alterações externas. As estações meteorológicas foram instaladas próxima ao centróide da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande.

4.2.3.1 Instalação da micro-estação HOBO

A fim de se obterem os dados meteorológicos necessários à caracterização hidrológica da micro-bacia em estudo, foi instalada em 09 de julho de 2007 uma micro-estação meteorológica, como mostra a Figura 4.7. A micro-estação encontra-se a cerca de 3,5 km da micro-bacia experimental e foi instalada próxima a sede da Fazenda Ecológica. A escolha do

local deu-se em função da necessidade de segurança da mesma, por tratar-se de uma estação portátil, pequena e leve.



Figura 4.7: Micro-estação meteorológica HOBOWEATHER.

A estação Hobo possui cerca de 2,5 m de altura e foi fixada com cabos numa região de campo aberto, respeitando-se uma distância de cerca de 50m das árvores mais próximas no sentido leste-oeste – com o propósito de minimizar sombreamento sobre os dois sensores de radiação. Buscou-se, também, uma distância segura das árvores com a finalidade de não obstruir o pluviógrafo. Posteriormente instalou-se uma cerca a seu redor com o intuito de inibir a ação de animais e pessoas e retirou-se a vegetação rasteira na área próxima à mesma a fim de se evitar danos causados por fogo, bastante freqüente durante a estação seca (maio a setembro).

Freqüentemente é realizada a manutenção do asseio em volta da micro-estação a fim de evitar que o fogo atinja a área da estação.

A micro-estação é constituída de um *data logger* modelo Onset HOBOWEATHER Weather Station, alimentado a pilhas, e 5 sensores montados em um tripé com aterramento, sendo eles: sensor de temperatura/umidade relativa; pluviógrafo tipo cuba basculante (*tipping bucket*); piranômetro de silicone; sensor de PAR (radiação fotossinteticamente ativa) de silicone; e um indicador de velocidade/direção do vento.

Os dados gerados por cada sensor são, respectivamente: temperatura do ar, umidade relativa do ar e ponto de orvalho; precipitação; radiação incidente; radiação fotossinteticamente ativa; velocidade/direção dos ventos e velocidade de rajada. Esses dados são coletados pelo *data logger* a cada 5 minutos. Os dados de radiação incidente, PAR e direção/velocidade do vento são coletados como a média, após 5 minutos, de amostragens a cada 1 minuto.

Os dados coletados da micro-estação são descarregados através da conexão de um computador (laptop) ao data logger, utilizando o programa BoxCar Pro 4.3. Os dados estão disponíveis em formato *.dtf, podendo, também, ser exportados como planilha do Excel, formato *.xls.

4.2.3.2 Instalação da Estação Campbell



Figura 4.8: Estação meteorológica Campbell.

Em novembro de 2008 foi instalada na micro-bacia experimental uma estação capaz de coletar dados meteorológicos e dados de umidade do solo. A estação meteorológica foi instalada em cima de uma torre de aproximadamente 20 m de altura localizada no interior da

mata de galeria da micro-bacia de estudo, sendo que o topo da torre está distante cerca de 4,7m do topo das árvores. A torre é feita de metal e foi fixada ao solo sobre uma base de cimento e presa por cabos de aço, como mostra a Figura 4.8

A estação meteorológica é constituída de um *data logger* modelo CR1000, alimentada por uma bateria, composta pelos equipamentos apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Equipamentos da estação Campbell.

Modelo	Descrição
CR1000 panel	Painel de ligações do CR1000
CR100KD	Display e teclado para CR1000
CR1000	Coletor de dados
CFM100	Adaptador de <i>compact flash</i>
Met One 034B	Anemômetro
TB04	Pluviógrafo
SP-LITE (Kipp & Zonen)	Piranômetro (onda curta)
NET-LITE (Kipp & Zonen)	Net Radiometer (Saldo de irradiâncias)
CS105 (Vaisala)	Barômetro
HFT-3 (Rebs)	Fluxo de calor no solo (FCS)
CS215	Umidade e temperatura do ar
BP365U	Painel solar (65 Watts)
CH100	Controlador de carga
Bateria 12Vdc 7Ah	Bateria para estação
CF16MB Canon	Cartão <i>compact flash</i> 16 Mb
CS616	Reflectômetro por domínio de frequência (FDR)

O datalogger realiza medidas a cada 10 segundos e armazena médias no cartão de memória a cada 10 minutos, exceto as medidas de temperatura/umidade/pressão barométrica do ar e de FDRs (Frequency Domain Reflectometry) que são medidas a cada minuto e as médias armazenadas no cartão de memória a cada 10 minutos. A Figura 4.9 mostra o datalogger e o coletor de dados da estação.



Figura 4.9: Datalogger e coletor de dados da estação Campbell.

As medidas de umidade no solo foram feitas indiretamente com sensores do tipo reflectômetro por domínio de frequência (FDR Campbell Scientific, CS616), formado por dois guias de onda (duas hastes metálicas paralelas), conectados a um circuito eletrônico que os excita para gerar a medida que é convertida, posteriormente, em umidade através de uma curva de calibração ou equação de calibração. O FDR CS616 (Figura 4.10) fornece medidas da umidade do solo baseadas na relação entre quantidade de água e a frequência da onda eletromagnética. A medida da frequência de uma onda quadrada é transformada em período e depois em umidade contida no meio de propagação. A umidade volumétrica de água no solo é estimada com base na variação da constante dielétrica do meio onde se propagam as ondas eletromagnéticas. A constante dielétrica do solo é em função dos seus constituintes físicos, embora a influência da água seja predominante em relação à porcentagem de argila e à salinidade, que também são importantes.



Figura 4.10: Sensor FDR - modelo CS616.

Fonte: Campbell, 2002-2006.

O valor do teor de umidade volumétrica do solo pode ser obtido através com base na Equação 4.1 (Campbell, 2002-2006).

$$VWC : [C0 + (C1 * period)] * 100 \quad (4.1)$$

Onde o VWC corresponde ao valor da umidade volumétrica do solo em %; o C0 e C1 correspondem aos coeficientes de calibração em função do tipo de solo; e o period corresponde ao período de propagação da onda obtida pelo sensor de FDR, em milissegundos.

Para calibração dos valores de teor de umidade volumétrica obtido pelo FDR, utilizou-se, na área de estudo, uma equação linear padrão para o tipo de solo próximo a torre, dado pela Equação 4.2.

$$VWC : [-0.6200 + (0.0329 * FDR)] * 100 \quad (4.2)$$

Os sensores FDRs foram instalados sempre com distâncias superiores a 25 cm entre eles para eliminar interferências nas medidas, uns dos outros. A abrangência média de cobertura deste sensor é de aproximadamente 3 cm de raio em torno de cada antena (haste metálica) introduzida no solo. Os sensores instalados na vertical representam a umidade média na profundidade referente à metade da antena. A área em torno dos sensores de umidade foi isolada a fim de evitar o pisoteio da área, pois a compactação pode interferir na umidade do solo.

A Figura 4.11 representa esquematicamente as profundidades de instalação dos sensores de solo. Os retângulos com prolongamento linear representam os FDRs. O Traço horizontal curto representa a placa de fluxo de calor no solo (2cm). As colunas de dados dos FDRs vão do mais raso ao mais profundo, da esquerda para a direita, respectivamente. A Figura 4.12 mostra os sensores instalados no solo.

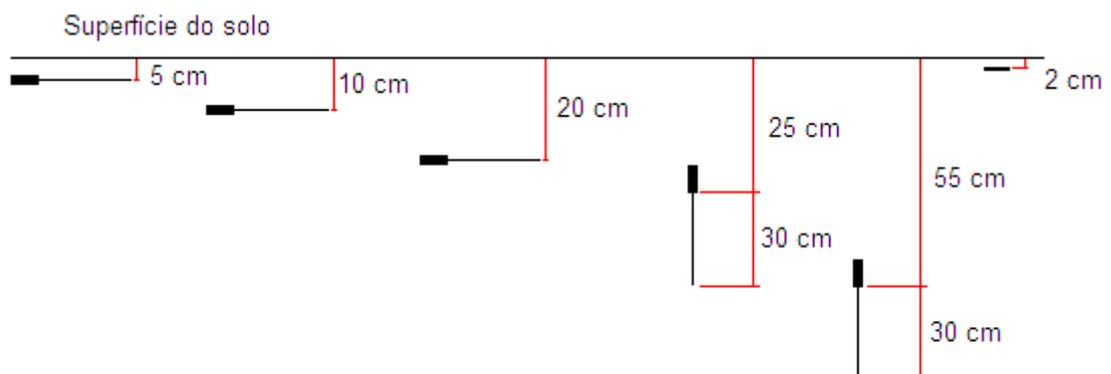


Figura 4.11: Representação esquemática dos sensores no solo.



Figura 4.12: Sensor de umidade no solo.

Para descarregar os dados, o cartão de memória é retirado da estação e os dados são copiados para o computador através de um leitor de cartão com entrada USB, utilizando o programa windows explorer. Os dados estão disponíveis em formato *.dat. Após a coleta das informações o cartão é formatado e inserido novamente no datalogger da estação. Os dados podem ser visualizados após a conversão dos mesmos para os formatos ASCII ou BIN, utilizando o software CARD CONVERT. Após transformados estes dados em formato ASCII, o mesmo pode ser importado para uma planilha do Excel, e salvo no formato *.xls.

Normalmente os dados da estação são descarregados mensalmente, e são verificados se os cabos de suporte da torre estão em bom estado e se os sensores estão funcionando perfeitamente.

4.2.3 Instalação do Pluviógrafo

Foi instalado, em fevereiro de 2008, um pluviógrafo da marca SEBA modelo RG 50, com funcionamento por cuba basculante, dentro dos limites da micro-bacia experimental, como mostra a Figura 4.13.

Sua localização contemplou três critérios específicos: ausência de obstáculos à chuva precipitada no aparelho, facilidade de acesso e necessidade de um coletor de dados pluviométricos dentro da bacia. Devido ao fato do centróide da micro-bacia estar localizado em uma área de acesso extremamente difícil e sob grande influência de árvores, e considerando a área reduzida da micro-bacia (pouco mais de 1 km²), o pluviógrafo não foi instalado próximo ao centróide da mesma.



Figura 4.13: Pluviógrafo instalado na área.

Os dados do aparelho são registrados por volume, ou seja, registra-se o tempo de cada unidade de volume precipitada (0,1 mm). Esses dados são armazenados no *data logger* do aparelho, RDS Light, e podem ser baixados através de um *laptop* pelo programa WBedien, incluso no aparelho, em formato específico, mas que pode ser exportado para formato ASCII, aceito pela maioria dos programas.

4.2.4 Análise do Solo

Durante a sondagem mecânica foram coletadas amostras do solo de 1m em 1m, nos cinco furos feitos para a instalação dos últimos poços de observação, para posterior descrição morfológica e determinação do teor de matéria orgânica.

As amostras de solo foram colocadas em sacos plásticos e identificadas por meio de etiquetas, sendo armazenadas em uma caixa de isopor para evitar a perda de umidade do solo (Figura 4.14).



Figura 4.14: Armazenamento das amostras de solo.

A descrição morfológica compreendeu a determinação da consistência, da textura e da cor das amostras. A consistência das amostras foi determinada pela empresa Técnica Engenharia, responsável pela sondagem, tendo como referência a NBR 7181/1984. A textura das amostras foi avaliada pela empresa Zoofértil, a partir do método EMBRAPA-USDA. A classificação da cor foi realizada de acordo com a carta de Munsell no Laboratório de Hidrologia do Campus de Palmas da Universidade Federal do Tocantins - UFT. A Figura 4.15 ilustra a variação da coloração de algumas das amostras de solo coletadas.

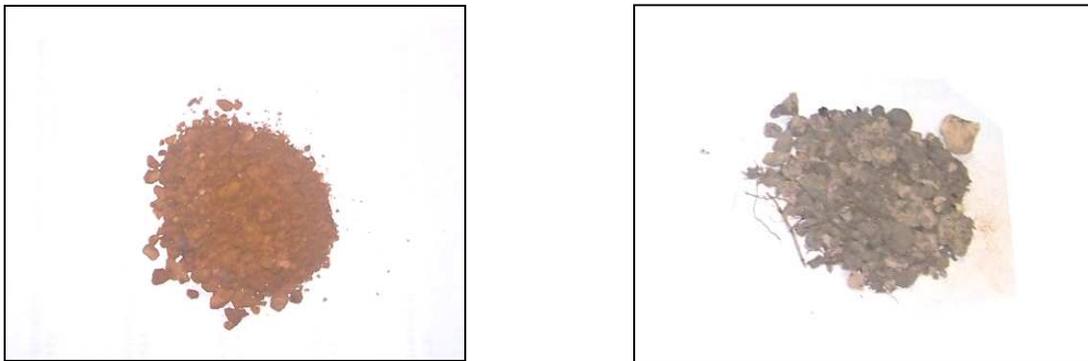


Figura 4.15: Amostras de solo.

O teor de matéria orgânica do solo (TMO) foi obtido a partir da análise do solo de dois poços de observação: o S2, localizado em uma área de mata-de-galeria e a cerca de 10m da torre, e o S5, localizado em uma área de pastagem. A determinação do TMO foi feita pela empresa Zoofértil, com adoção da metodologia proposta por EMBRAPA (1997).

4.2.5 Instalação dos Poços de Observação

No final de maio de 2007, foram instalados 21 poços de observação por toda a bacia, para o monitoramento do lençol freático. Os poços de observação foram instalados na área de influência do curso dos principais canais de drenagem da bacia, além de locais com formações vegetais distintas: pastagem/campo e mata de galeria.

Os poços de observação consistem de um tubo de PVC – perfurado com 3 furos de 8 mm a cada 10 cm – com 100 mm de diâmetro, um redutor de 100 para 50 mm e um tubo de 1 m de comprimento e 50 mm de diâmetro de zinco. Os furos foram feitos com trado de caneca; nos primeiros 50 cm introduziu-se brita ao redor do tubo, acrescentando-se terra do local por cima. A superfície em torno do furo foi revestida com uma fina camada de cimento a fim de impedir a entrada de água por infiltração. Foi colocada uma tampa na extremidade superior do tubo para evitar a entrada de materiais sólidos e de água da chuva. A Figura 4.16 mostra o furo e o material utilizado nessa etapa.



(a)



(b)

Figura 4.16: Instalação dos poços de observação.

(a) Furo realizado para implantação dos poços (b) Material utilizado na instalação

Posteriormente, nos meses de janeiro e fevereiro de 2008, foi feita a instalação de cinco novos poços de observação com auxílio de sondagem mecânica, realizada pela empresa Técnica Engenharia Ltda, utilizando-se as seguintes normas de referência: NBR's 6484/2001, 6502/1995, 7181/1984, 8036/1983 e 13441/1995. A sondagem foi realizada à percussão, com furo de 2,5 polegadas, e peso de 70 kg a 1 m de altura. Constatando-se impenetrabilidade após 50 golpes, considerava-se que foi atingida a camada impermeável e, para se verificar se a

mesma seria apenas local, iniciava-se nova sondagem a cinco metros do furo anterior. Apenas após constatar que a camada impermeável cobria toda a área, faziam-se os furos e instalavam os poços de observação. Foram colocadas cabeceiras metálicas visando a proteção contra o fogo, comum na estação seca e para diferenciar estes dos outros poços.

Os poços de sondagem foram instalados bem distribuídos ao longo dos outros poços instalados anteriormente, com o intuito de avaliá-los posteriormente.

Durante as sondagens foram feitas a determinação da consistência e a descrição de cada camada do solo. As Figuras 4.17a e 4.17b ilustram os poços de observação instalados com trado manual e com trado mecânico.

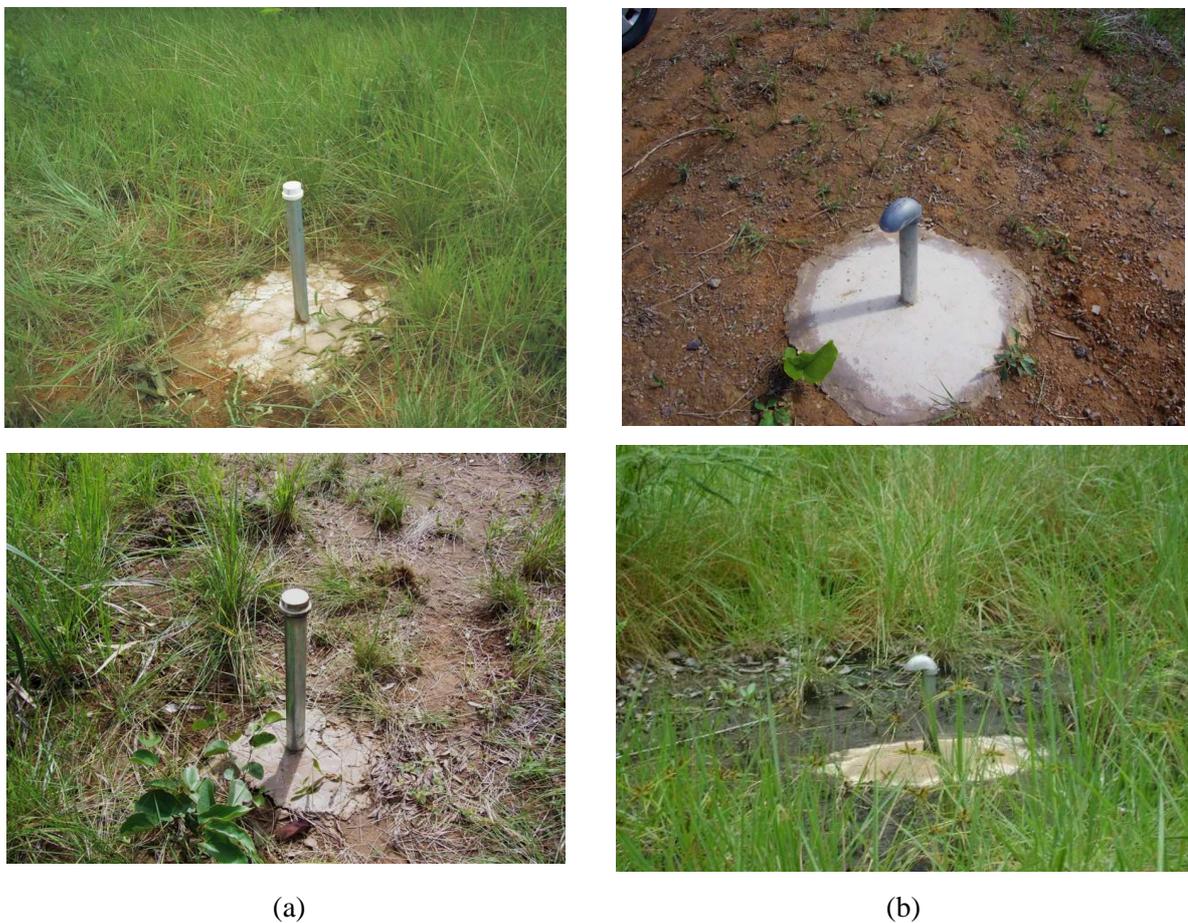


Figura 4.17: Poços de observação instalados.

(a) Trado manual (b) Trado mecânico

Ao todo foram instalados 26 poços de observação. A Figura 4.18 apresenta a localização dos poços de observação na micro-bacia.

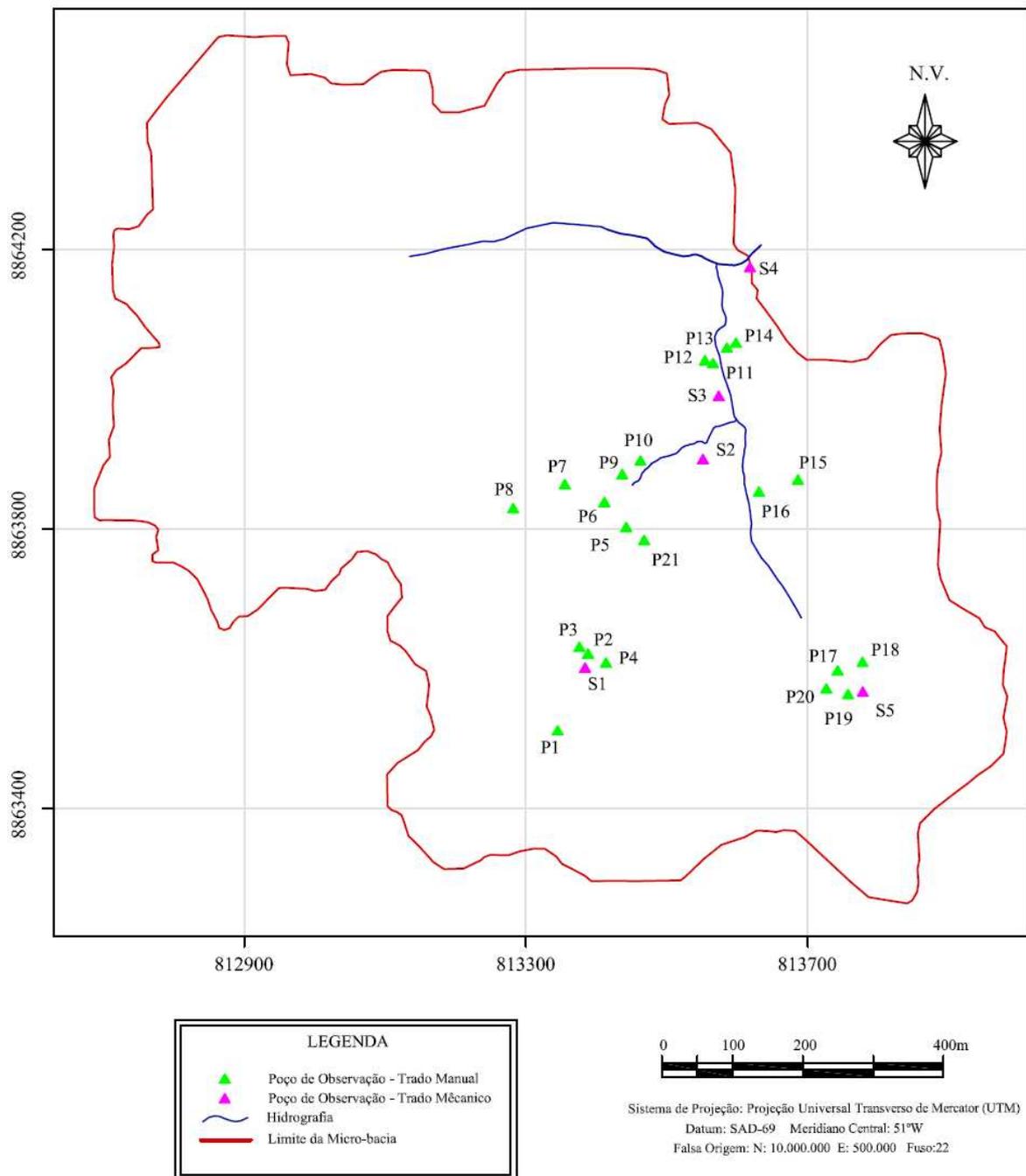


Figura 4.18: Localização dos poços de observação instalados.

Para monitoramento da variação do nível do lençol freático, foram realizadas visitas quinzenais aos poços de observação. Inicialmente, a medição foi realizada utilizando uma bóia e linha de anzol, onde se lançava a bóia de pescaria ligada por linha de anzol no poço até atingir o nível d'água em relação ao solo. Após isso, a bóia era recolhida, e feita a medição da linha com a trena. Posteriormente, as leituras foram feitas por meio de um sensor sonoro, com um cabo longo graduado, que detectava a presença de água.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização Geral da Bacia

5.1.1 Levantamento Topográfico

A Figura 5.1 apresenta o mapa com as curvas de nível com equidistância de 5m obtidas a partir do levantamento topográfico da área. Curvas de nível mais próximas indicam áreas mais íngremes enquanto curvas de nível mais distantes indicam áreas mais planas. A altitude da micro-bacia varia de 600,3m a 685,4m apresentando menores valores nas regiões mais a leste, onde se localiza o exutório.

5.1.2 Mapas Temáticos

5.1.2.1 Mapa Hipsométrico

Na Figura 5.2 apresenta-se o mapa hipsométrico da micro-bacia. As cores mais fortes indicam áreas mais elevadas enquanto as mais fracas indicam áreas mais baixas. Observa-se que cerca de 75% da área total da bacia está compreendida entre as altitudes de 620 a 655m, sendo a altitude média de 644,8m.

As áreas com altitudes maiores são áreas com menor presença de sedimentos e com pouca vegetação natural, o que facilita o escoamento superficial e a erosão. As áreas mais planas contribuem para um menor escoamento superficial uma vez que favorecem a infiltração da água.

5.1.2.2 Mapa de Uso e Cobertura da Terra

A Figura 5.3 apresenta o mapa de uso e cobertura da terra no ano de 2008. Observa-se que a maior parte da bacia é formada por campo rupestre, apresentando faixas de cerrado sentido restrito e floresta semidecidual aluvial (mata-de-galeria).

Em virtude da área de estudo estar inserida em uma área rural, a mesma sofre constantemente com a ação do fogo, principalmente na época da estiagem. Observa-se,

entretanto, que a vegetação típica de ambiente cerrado possui elevada capacidade de regeneração.

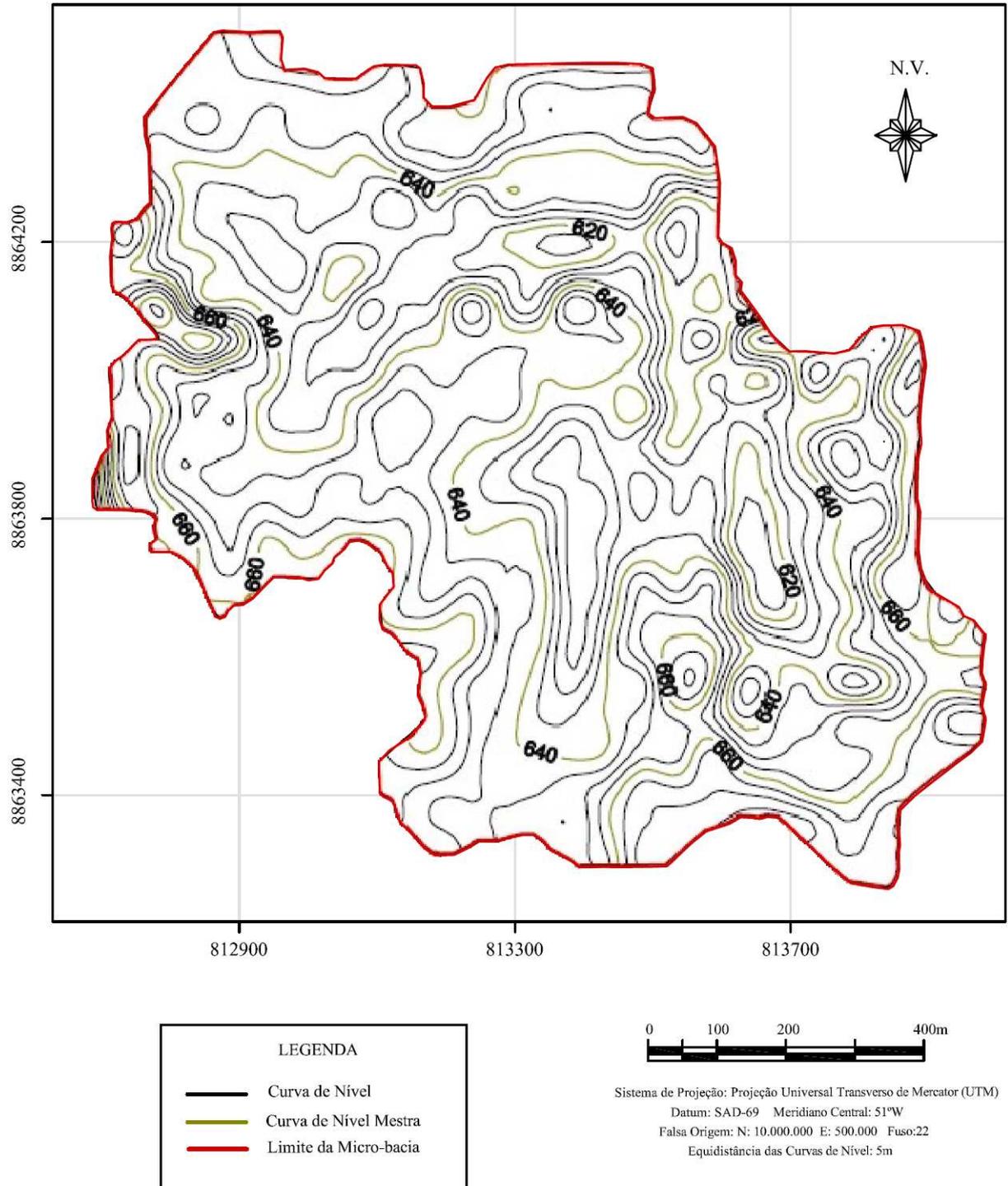


Figura 5.1: Mapa de curvas de nível da micro-bacia.

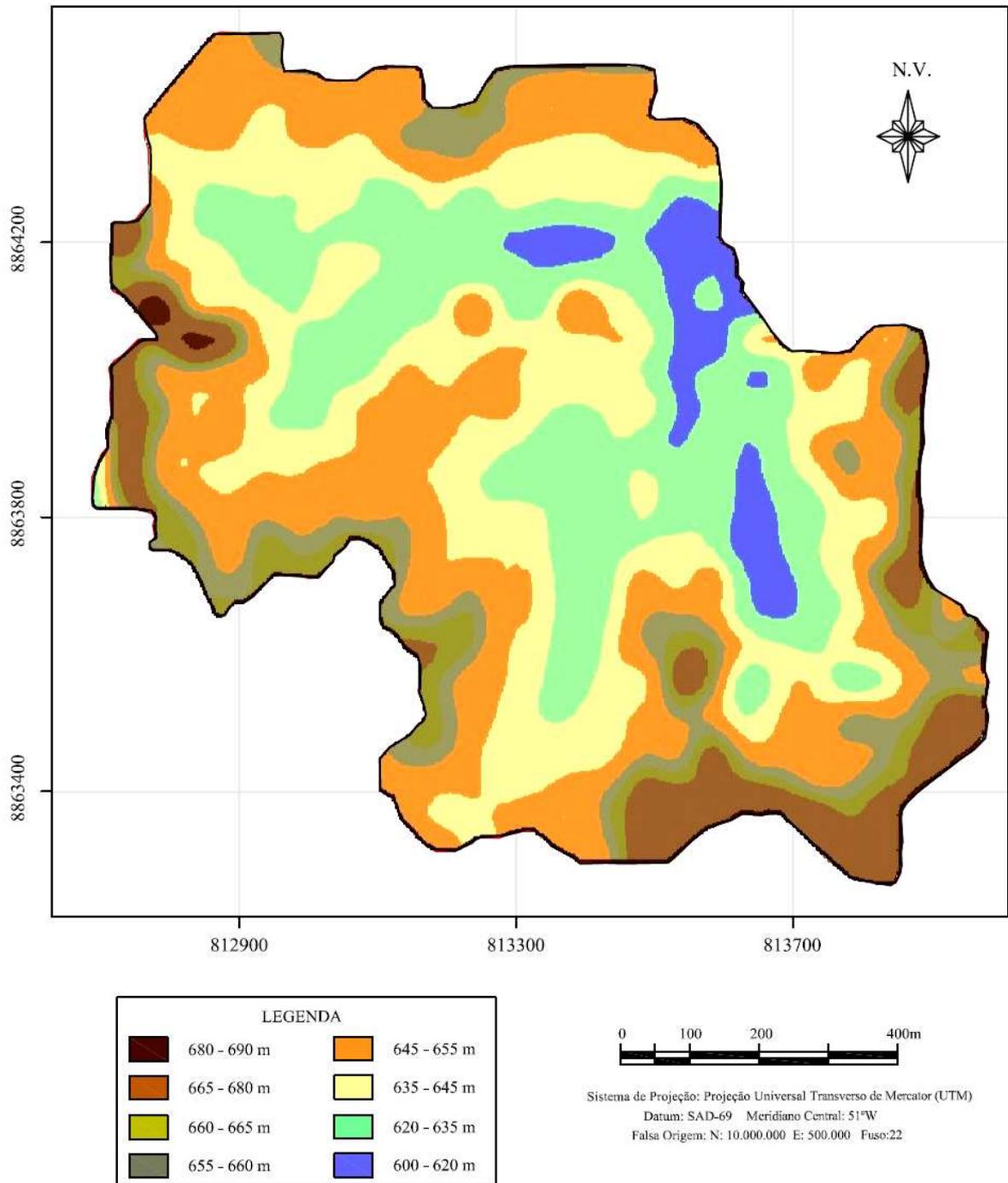


Figura 5.2: Mapa hipsométrico da micro-bacia.

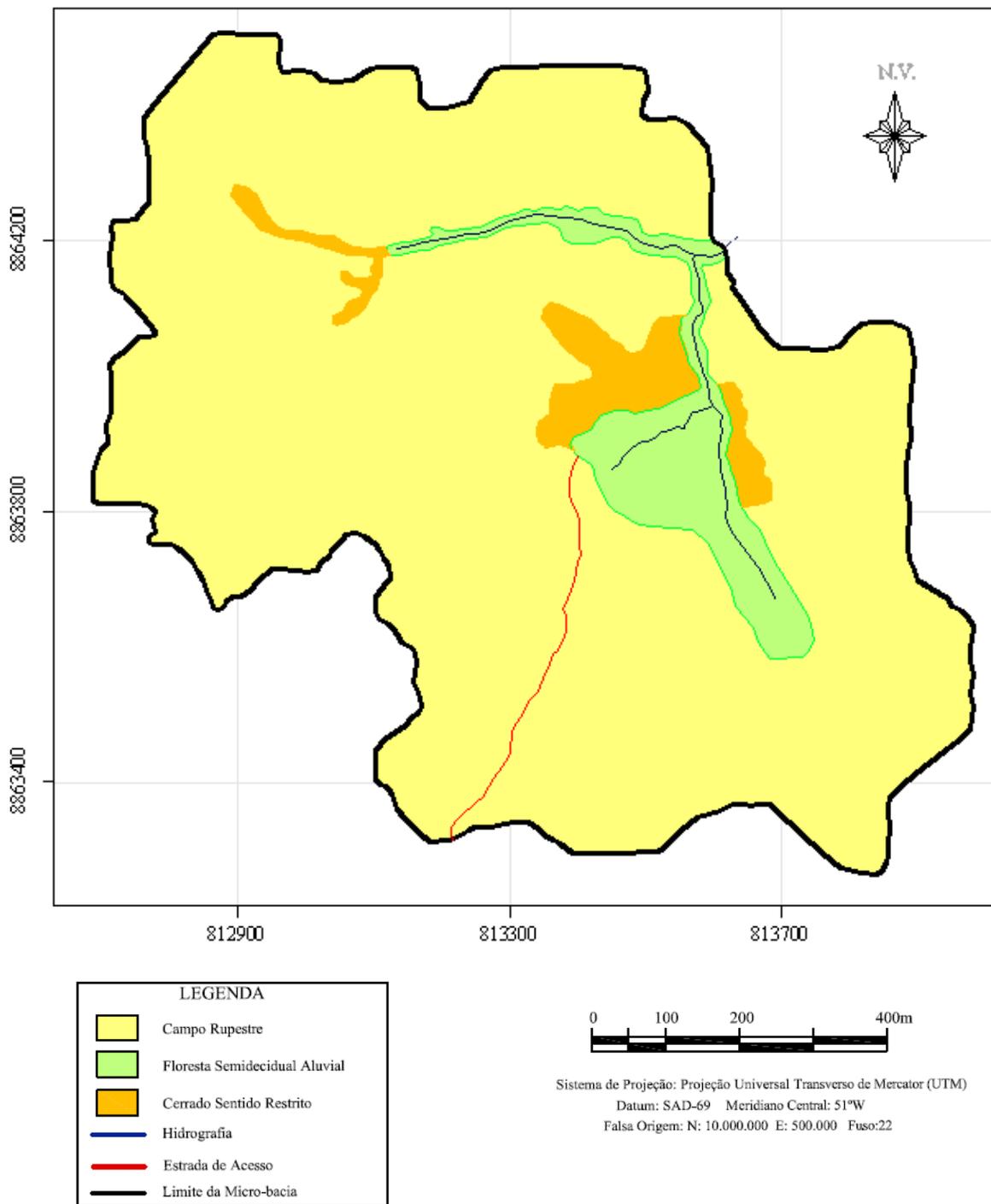


Figura 5.3: Mapa de uso e cobertura da terra (2008).

5.1.2.3 Modelo Digital do Terreno

A Figura 5.4 apresenta o modelo digital do terreno da área de estudo em projeção ortográfica com 30° de inclinação no eixo x e 45° de rotação no eixo y. As zonas mais claras indicam áreas mais elevadas e zonas mais escuras indicam áreas mais baixas. O poço de observação com maior altitude é o P18 situado na região mais a sudeste da bacia com altitude de 655,4m. O poço de observação com menor altitude é o S4 situado na região mais a nordeste da bacia com altitude de 606,2m.

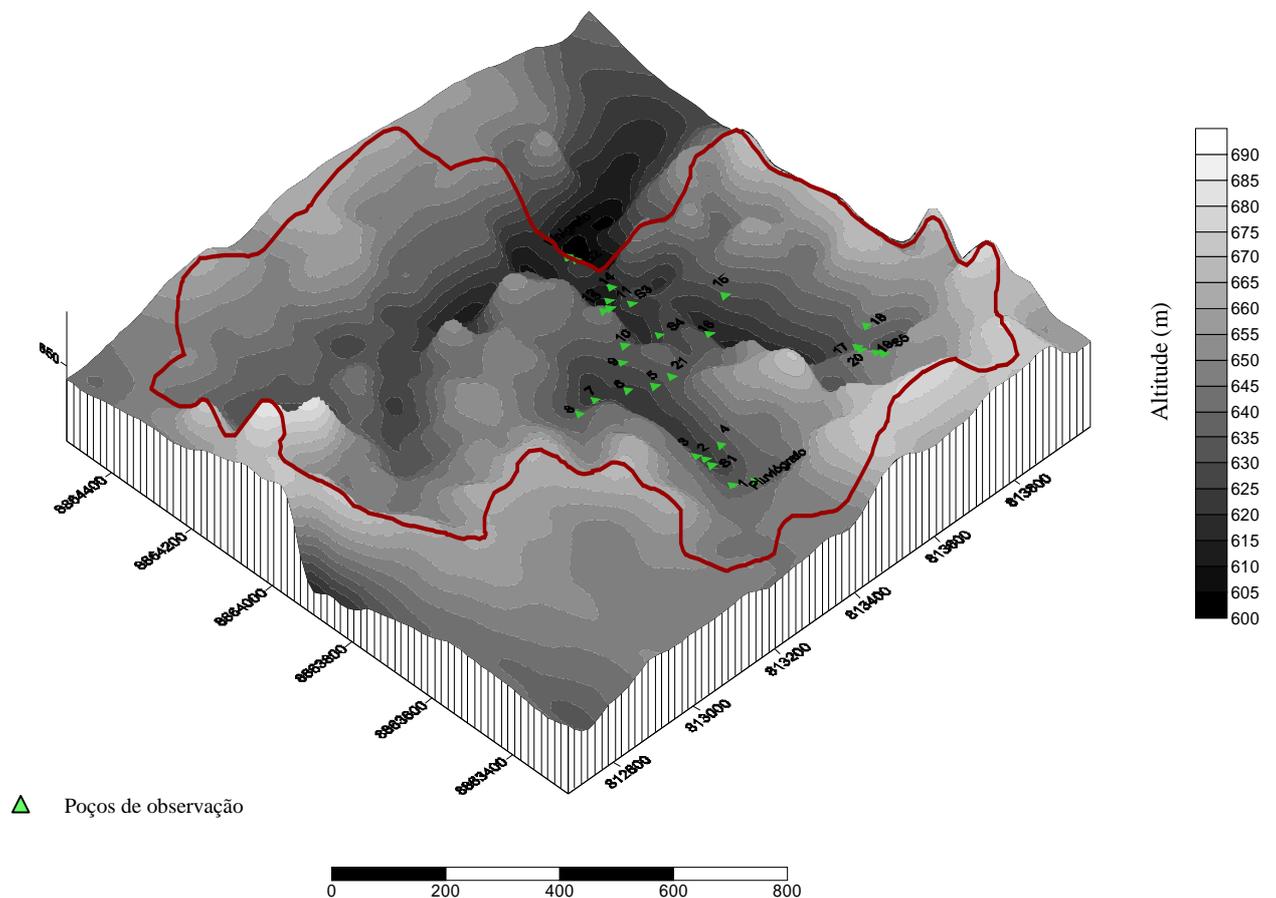


Figura 5.4: Modelo Digital do Terreno da micro-bacia.

5.1.2 Atributos Morfométricos da Bacia

A Tabela 5.1 mostra os resultados dos atributos morfométricos da micro-bacia de estudo obtidos a partir da caracterização da mesma. A bacia possui uma área de drenagem de 104,7360 ha e um perímetro de 5.137,03m.

Tabela 5.1: Atributos morfométricos da micro-bacia de estudo.

Atributos	Medidas da bacia
Área da bacia	104,7360 ha
Perímetro da bacia	5.137,03 m
Comprimento da drenagem principal	550,02 m
Comprimento total da rede de drenagem	1.214,73 m
Largura média da bacia	1.704,32 m
Altitude máxima	685,37m
Altitude média	644,83m
Altitude mínima	600,28m
Amplitude topográfica	85,09 m
Ordem da drenagem	2

A micro-bacia em estudo possui dimensões reduzidas e é classificada como de segunda ordem na hierarquia de Strahler, evidenciando um sistema de drenagem pouco ramificado.

A bacia apresenta uma amplitude topográfica expressiva com um valor de 85,09m. Tal fato ainda pode ser comprovado pela visualização do modelo digital do terreno da micro-bacia (Figura 5.4), onde se tem uma impressão topográfica da bacia.

A micro-bacia possui um formato alongado o que faz com que a água atinja o exutório em diferentes intervalos de tempos. Em uma bacia com formato aproximadamente circular, em geral, a água de chuva leva intervalos de tempo aproximadamente semelhantes para escoar das partes mais altas para as mais baixas, reduzindo o tempo de concentração do escoamento superficial na bacia. Adicionalmente em bacias com formato circular, há maior possibilidade de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal.

5.2 Caracterização Quanto ao Tipo de Solo

5.2.1 Descrição Morfológica do Perfil do Solo

Os dados relativos à classificação quanto à coloração, textura, e consistência do solo coletados nos 5 poços de observação instalados com trado mecânico são apresentados nas Tabelas 5.2 a 5.6.

O perfil de solo no poço S1 (Tabela 5.2), consiste de um material com textura argilosa, com consistência variando de rija a dura, a medida que avança em profundidade. A coloração é praticamente homogênea ao longo de todo o furo, com uma ligeira mudança na camada entre 3,45 a 4,45m.

Tabela 5.2: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S1).

Relevo - Leve declividade Coordenadas UTM – N: 8.863.601,08m e E: 813.385,66m			
Altitude – 629,78 m Profundidade do tubo – 5,10m			
Profundidade (m)	Cor Munsell	Textura	Consistência
0 - 1,45	5YR 4/4	Argila	Rija
1,45 - 2,45	5YR 4/4	Argila	Rija
2,45 - 3,45	5YR 4/4	Argila	Dura
3,45 - 4,45	5YR 4/6	Argila	Dura

No perfil de solo no poço S2 (Tabela 5.3), as características tanto de textura quanto de coloração apresentam variações em função das profundidades. Acredita-se que essas diferenças tenham sido causadas pelo fato desse furo localizar-se em uma zona de deposição de sedimentos, por estar localizado nas proximidades da margem de um córrego. Pela maior concentração de vegetação nessa área, há uma maior concentração de matéria orgânica decorrente da decomposição de restos vegetais. Uma maior elevação do nível d'água nessa área provavelmente deve ter influenciado a consistência da argila, que varia de média a muito mole nos primeiros 6m de profundidade. Ao longo do perfil são também observadas alterações na coloração do solo, provavelmente decorrentes de variações no teor de matéria orgânica no solo.

Tabela 5.3: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S2).

Relevo - Leve declividade Coordenadas UTM – N: 8.863.900,17m E: 813.552,93m			
Altitude – 616,03m Profundidade do tubo – 9,24m			
Profundidade (m)	Cor Munsell	Textura	Consistência
0 - 1,45	10YR 3/2	Argila	Média
1,45 - 2,45	10YR 7/2	Argila	Média
2,45 - 3,45	10YR 6/6	Argila	Média
3,45 - 4,45	7,5YR 5/6	Argila	Mole

4,45 - 5,45	Gley 2 2,5/5B	Argila	Muito mole
5,45 - 6,45	Gley 2 3/5 BG	Argila	Media
6,45 - 7,45	10YR 7/8	Argila	Média/rija
7,45 - 8,45	10YR 6/6	Franco Argilo Arenoso	Dura
8,45 - 9,24	2,5 YR 5/6	Argila Arenosa	Dura

No poço de observação S3 (Tabela 5.4), o solo apresentou uma textura diferente dos demais pontos, com predominância de material argilo-arenoso, ao longo do perfil. Em termos de coloração, o perfil apresenta-se bastante variável, provavelmente em decorrência da mistura de materiais de diferentes texturas, na qual processos erosivos podem ter atuado no sentido de carrear superficialmente material proveniente de outras áreas.

Tabela 5.4: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S3).

Relevo - Leve declividade. Coordenadas UTM – N: 8.863.990,68m E: 813.575,65m			
Altitude – 612,10 m Profundidade do tubo – 3,45m.			
Profundidade (m)	Cor Munsell	Textura	Consistência
0 – 1,45	Gley 1 2,5/N	Franco Argilo Arenoso	Mole
1,45 – 2,45	5Y 4/1	Argila	Muito mole
2,45 – 3,45	10YR 4/4	Franco Argilo Arenoso	Muito compacta

No poço de observação S4 (Tabela 5.5), ocorre a predominância de material argilo arenoso e o solo possui coloração uniforme, sendo que, a pequena diferença nas colorações pode ter sido devida à presença de um horizonte “C”, ou seja, horizonte com rochas em processo de alteração. A consistência varia de média a dura ao longo do perfil.

Tabela 5.5: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S4).

Relevo - Leve declividade Coordenadas UTM – N: 8.864.175,03m E: 813.619,80m			
Altitude – 606,17 m Profundidade do tubo – 2,35m.			
Profundidade (m)	Cor Munsell	Textura	Consistência
0 - 1,45	7,5 YR 3/3	Argila Arenosa	Média
1,45 - 2,45	7,5 YR 3/4	Argila Arenosa	Dura

No perfil do poço S5 (Tabela 5.6), o solo apresentou uma textura predominantemente argilosa, e as características tanto de coloração quanto de consistência apresentam variações em função das profundidades, onde a consistência varia de média a rija.

Tabela 5.6: Descrição morfológica do perfil do solo (poço S5).

Relevo - Leve declividade Coordenadas UTM – N: 8.863.566,75m E: 813.780,12m			
Altitude– 641,07 m Profundidade do tubo – 7,11m			
Profundidade (m)	Cor Munsell	Textura	Consistência
0 - 1,45	10YR 3/4	Argila	Média
1,45 - 2,45	7,5YR 5/8	Argila	Mediamente compacta
2,45 - 3,45	10YR 4/4	Argila	Rija
3,45 - 4,45	5YR 4/6	Argila	Rija
4,45 - 5,45	2,5YR 5/3	Argila	Rija/mole

5.2.2 Classificação Granulométrica

A Figura 5.5 apresenta os resultados das análises granulométricas do solo dos poços de observação S1, S2, S3, S4 e S5.

O poço de observação S1 apresenta um alto teor de argila e areia ao longo de todo o perfil. O poço de observação S2 até a profundidade de 6,45m apresenta mais quantidade de argila do que areia, porém depois desta profundidade a quantidade de argila diminui e a de areia aumenta gradativamente. Nos poços de observação S3 e S4 observa-se um alto teor de areia ao longo de todo o perfil, apresentando uma quantidade de argila considerável. O poço de observação S5 possui grandes quantidades de areia e argila, apresentando uma variação na profundidade de 1,45 a 2,45m onde observa-se um alto teor de argila.

De maneira geral, os poços de observação analisados apresentam pouca quantidade de silte variando de 8 a 19%.

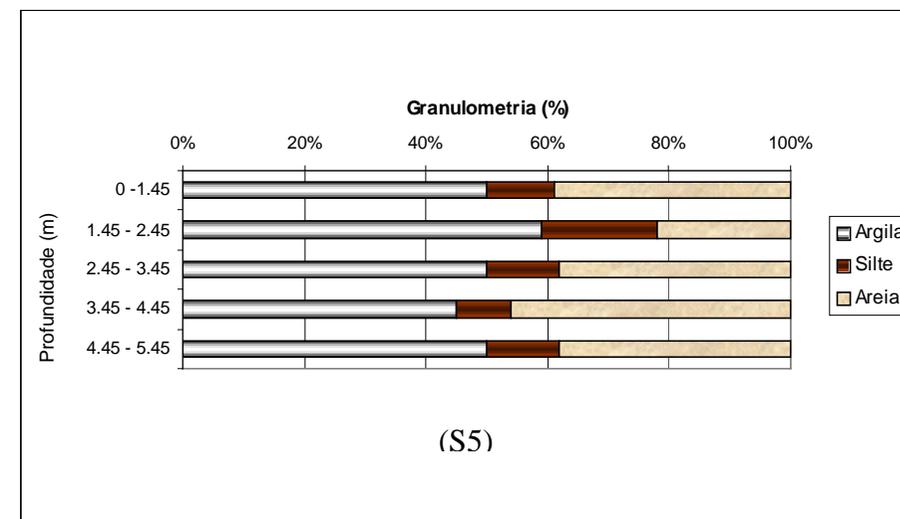
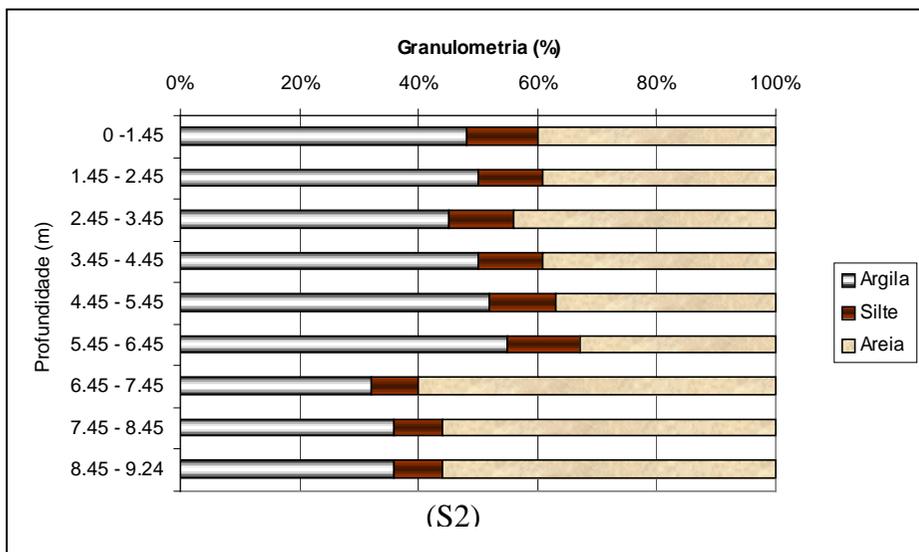
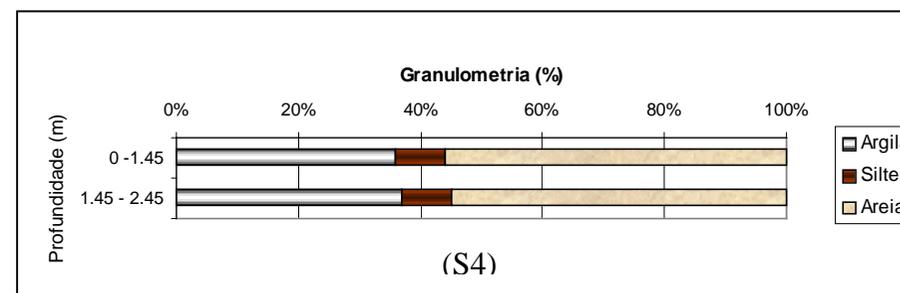
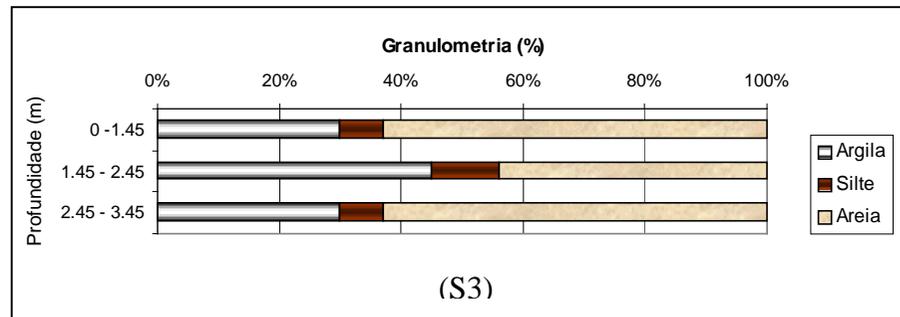
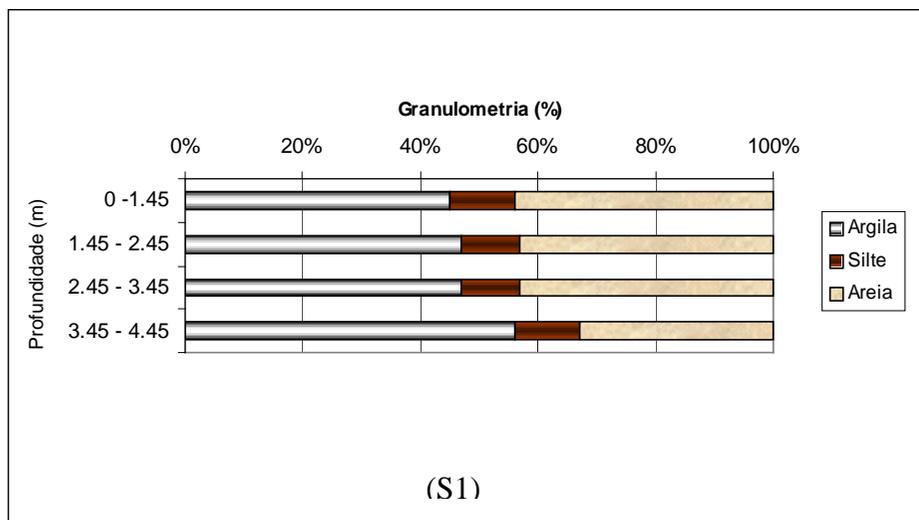


Figura 5.5: Classificação granulométrica do solo – Poço de observação S1 ao S5.

5.2.3 Teor de Matéria Orgânica no Solo

Uma das principais funções da matéria orgânica é reter umidade no solo, e manter o solo, produtivo. A Figura 5.6 mostra o teor de matéria orgânica no solo obtido nos poços de observação S2 e S5, com profundidades de 9,24m e 5,45m, respectivamente. Observa-se que o teor de matéria orgânica no solo do poço de observação S2 é maior na profundidade de 0 a 1,45m, permanecendo praticamente constante nas outras profundidades. Entretanto na profundidade de 4,45 a 5,45m, ocorre uma variação no teor de matéria orgânica no poço S2. Analisando o perfil do solo nessa camada observa-se que a mesma tem cor e textura diferente das demais, indicando uma mudança na camada do solo nessa profundidade.

No poço de observação S5 o teor de matéria orgânica no solo é maior na camada inicial e permanece constante nas outras profundidades.

Comparando-se o teor de matéria orgânica nos dois poços de observação, nota-se que no poço S2 está é muito maior do que o do poço S5, na profundidade de 0 a 1,45m, horizonte A0 do solo. Isso deve-se, provavelmente ao fato do poço S2 estar localizado em área com vegetação densa do tipo mata-de-galeria onde a decomposição das folhas, galhos e troncos favorece o aumento desses teores. O poço S5 está localizado em uma área de campo/pastagem onde o teor de matéria orgânica tende a ser menor.

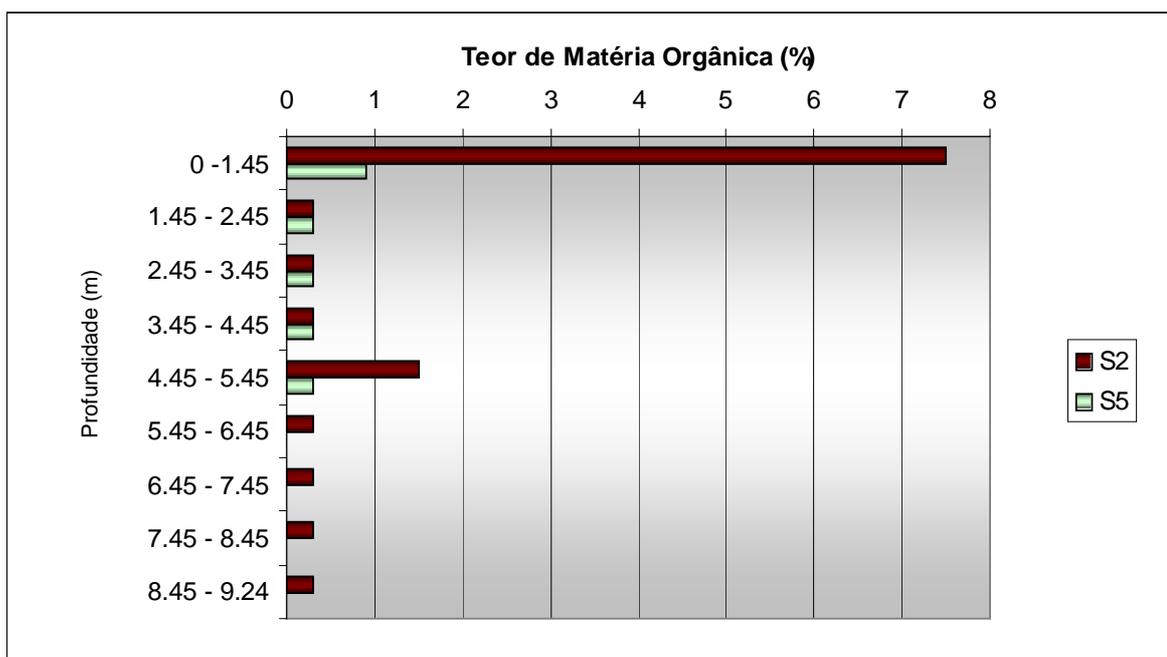


Figura 5.6: Teor de matéria orgânica no solo (Poços S2 e S5).

5.3 Caracterização Hidrológica

5.3.1 Dados Meteorológicos

5.3.1.1 Estação Hobo

A Tabela 5.7 e a Figura 5.10 apresentam os dados meteorológicos mensais obtidos pela estação Hobo no período de julho/2007 a fevereiro/2009. Durante os meses de junho, julho e agosto de 2008 ocorreram problemas técnicos na estação meteorológica, não tendo sido registrados dados meteorológicos nesse período.

Tabela 5.7: Médias mensais dos dados meteorológicos da estação Hobo.

Mês	Temperatura (°C)	Ponto de Orvalho (°C)	Umidade Relativa (%)	Precipitação * Acumulada (mm)	Velocidade dos Ventos (km/h)	Radiação Solar (MJ/m ²)
Jul/07	25.72	11.87	43.67	0.00	3.19	19.62
Ago/07	26.01	8.95	35.15	0.00	5.16	23.07
Set/07	27.69	9.39	33.59	34.04	4.98	23.25
Out/07	26.88	16.57	57.34	103.23	1.10	21.15
Nov/07	25.01	19.46	73.73	167.41	2.39	18.80
Dez/07	24.45	20.10	78.30	116.08	2.30	17.98
Jan/08	23.73	21.15	86.98	193.06	1.40	16.89
Fev/08	23.33	21.93	93.38	219.74	0.98	16.94
Mar/08	22.97	22.12	96.19	92.72	0.95	14.93
Abr/08	23.88	21.98	91.12	51.82	1.62	17.10
Mai/08	23.74	21.04	87.23	62.24	1.66	16.46
Jun/08	-	-	-	-	-	-
Jul/08	-	-	-	-	-	-
Ago/08	-	-	-	-	-	-
Set/08	28.03	10.72	38.29	33.03	3.36	22.05
Out/08	27.12	14.43	52.04	58.68	3.46	22.25
Nov/08	24.22	21.53	87.74	311.67	2.14	15.58
Dez/08	23.50	22.44	95.61	190.50	2.02	13.79
Jan/09	24.17	22.08	90.37	246.15	2.02	13.34
Fev/09	23.82	22.79	95.30	178.93	1.63	12.41

* Precipitação mensal acumulada

De uma maneira geral, no estado do Tocantins, o clima apresenta dois períodos bem definidos. Um período seco, que vai de maio a setembro, e um período chuvoso, de outubro a abril. Apesar da ausência de dados para os meses de junho a agosto, os resultados obtidos, confirmam esse padrão climático.

Observa-se que no final do ano de 2008, choveu mais do que no ano de 2007, principalmente nos meses de novembro e dezembro, onde o índice pluviométrico foi quase 60% maior do que do ano de 2007 (Figura 5.9). No mês de janeiro de 2009 também choveu mais do que o ano anterior, registrando índices de 246,1mm e 193,1mm, respectivamente.

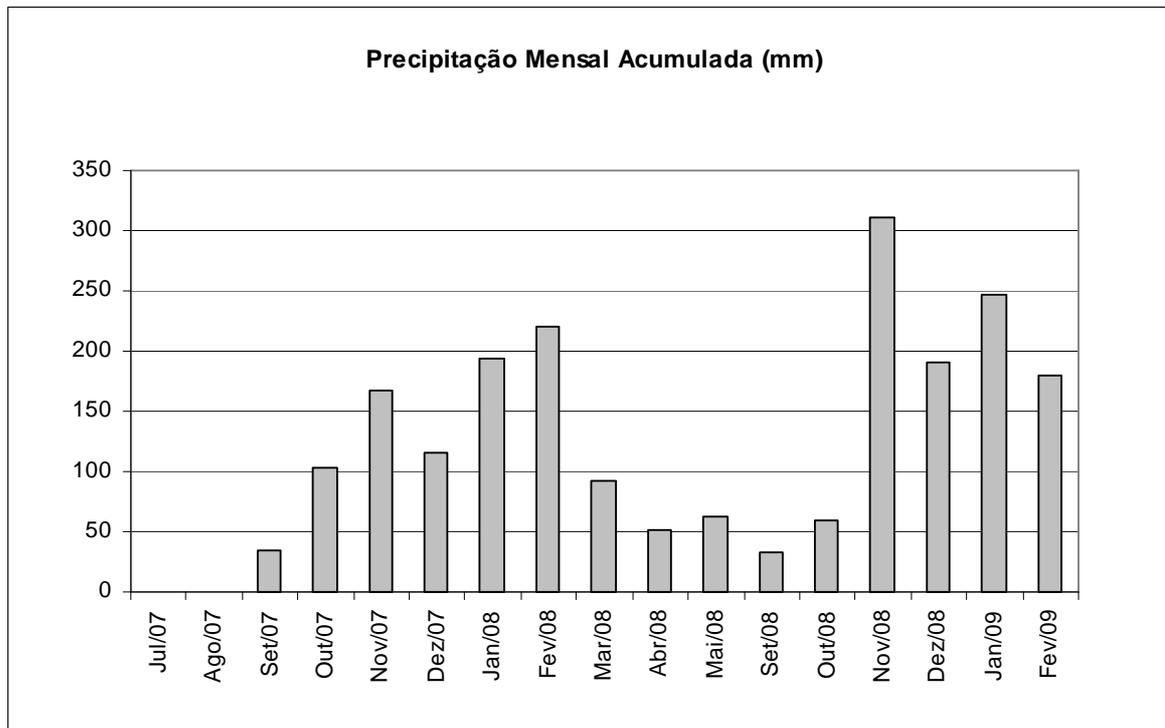


Figura 5.9: Precipitação mensal acumulada (Jul/07 a Fev/09).

A Figura 5.10 apresenta as variações de temperatura, ponto de orvalho, umidade do ar e velocidade do vento em comparação com a precipitação. Observa-se, através da Figura 5.10a que a partir do mês de julho/2007 a temperatura do ar aumenta gradativamente até o mês de setembro/2007, apresentando um aumento de aproximadamente 2°C. A partir de outubro/2007 a temperatura diminui gradativamente até o mês de março/2008, com diminuição de até 5°C. A partir do mês de abril/2008 a temperatura aumenta até o mês de setembro/2008 onde a partir de então a temperatura diminui gradativamente até o mês de fevereiro/2009. De modo geral, esse comportamento é inverso ao da precipitação, ou seja, quanto maiores os totais precipitados, menor a temperatura.

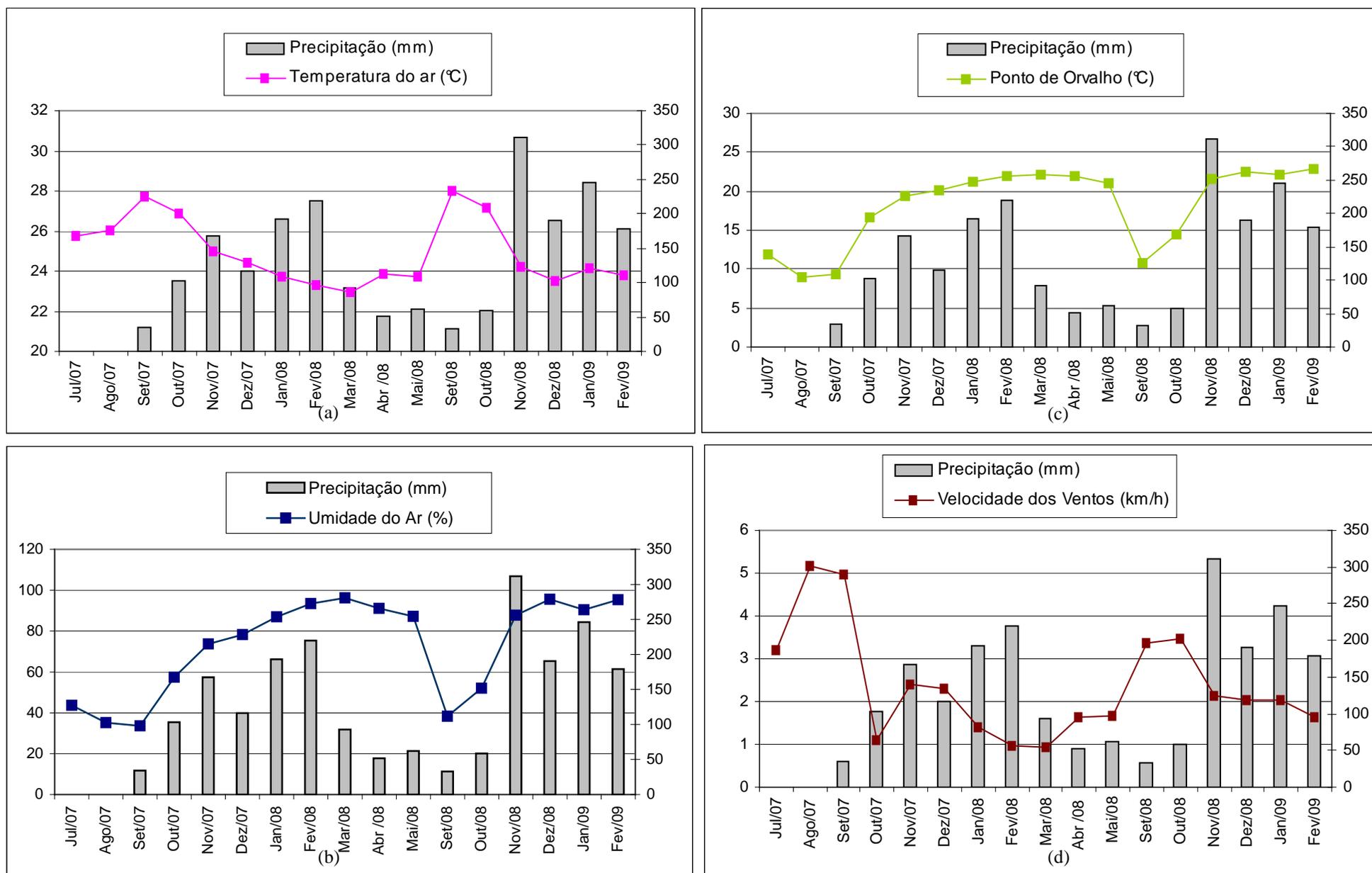


Figura 5.10: Médias mensais da temperatura, umidade do ar, ponto de orvalho, velocidade dos ventos e precipitação acumulada (Jul/07 a Fev/09).

As maiores temperaturas do ar foram registradas durante o mês de setembro dos anos de 2007 e 2008, apresentando valores de $27,7^{\circ}\text{C}$ e $28,0^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A menor temperatura foi registrada durante o mês de março/2008 com um valor de $23,0^{\circ}\text{C}$. Portanto, a maior temperatura foi registrada durante o período tipicamente seco e a menor temperatura durante o período tipicamente chuvoso.

A Figura 5.10b apresenta a variação da umidade relativa do ar ao longo do período analisado. Observa-se que a partir do mês de outubro de 2007 e 2008 a umidade do ar aumenta gradativamente até o mês de fevereiro/março apresentando uma variação de 63%, seguindo, como era de se esperar, uma oscilação anual em fase com a precipitação.

Comparando os dados de temperatura e umidade relativa do ar, observa-se que a maior temperatura e menor umidade do ar são registradas no mês de setembro de 2007 e 2008, e que a menor temperatura e maior umidade do ar são registradas no mês de março/2008. Portanto, o mês de setembro é o mais quente e menos úmido e o mês de março o menos quente e mais úmido.

Os gráficos da umidade do ar e do ponto de orvalho (Figuras 5.10b e 5.10c) apresentam padrões semelhantes entre si. Isso deve-se ao fato de que o ponto de orvalho é definido como o ponto em que o vapor de água presente no ar está prestes a se condensar, e nesse estágio a umidade do ar encontra-se alta.

Durante o período de julho a setembro de 2007 observou-se as maiores intensidades de vento durante todo o período analisado (Figura 5.10d). A partir do mês de novembro/2007 a velocidade dos ventos começa a diminuir gradativamente até o mês de março/2008. A partir de então a velocidade tende a aumentar até o mês de outubro/2008. As menores intensidades do vento foram observadas durante os meses de outubro/2007 e março/2008.

Comparando-se a velocidade dos ventos durante os anos de 2007 e 2008, nota-se que o comportamento foi muito variável no período, apresentando valores próximos apenas durante os meses de novembro e dezembro.

Os maiores valores de radiação solar foram observados nos meses de setembro e outubro como mostra a Figura 5.11. Comparando os dados de radiação solar e temperatura do ar, observar-se, como era de se esperar, que os dados apresentam-se padrões semelhantes, ou seja, à medida que a radiação solar aumenta a temperatura tende a aumentar.

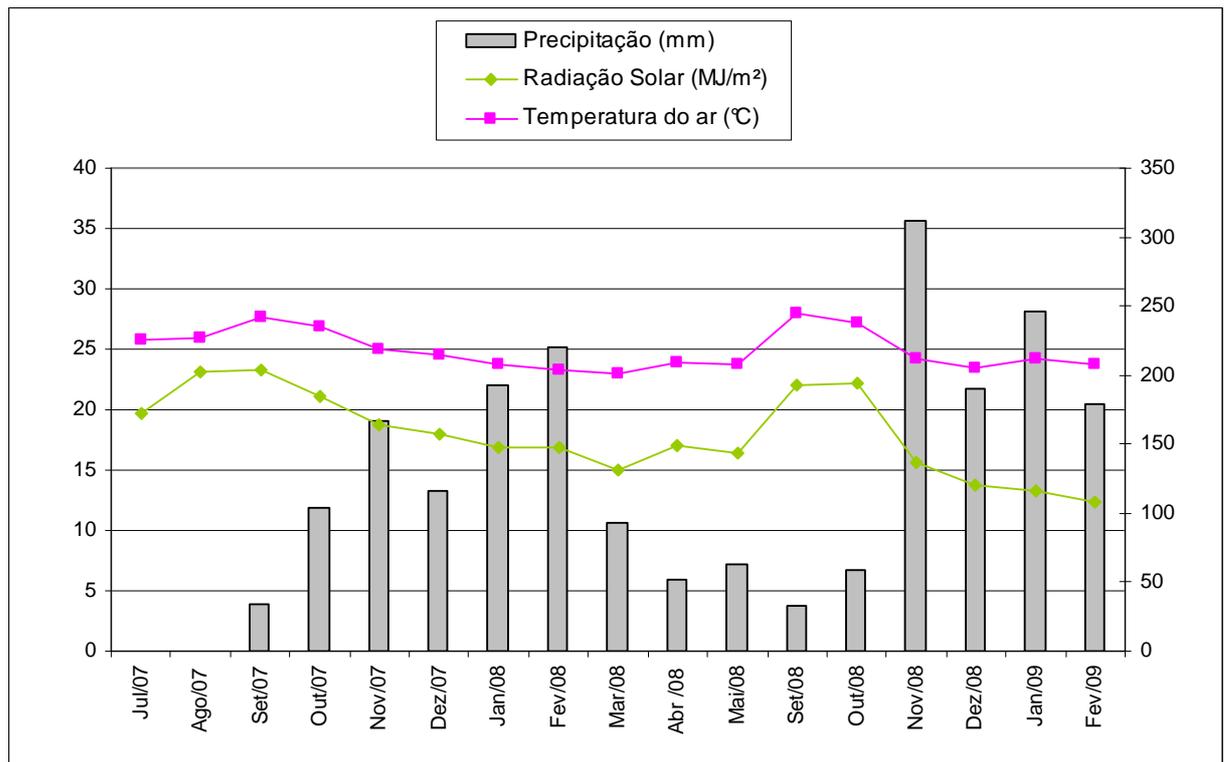


Figura 5.11: Médias mensais da radiação solar, temperatura do ar e precipitação acumulada (Jul/07 a Fev/09).

Os maiores valores de temperatura do ar e radiação solar foram registrados durante os meses com menor precipitação (set/07, set/08 e out/08). No período chuvoso, devido a uma maior ocorrência de nuvens, a incidência de radiação, e conseqüentemente, a temperatura do ar, tendem a diminuir gradativamente.

Os dados da direção do vento foram classificados a partir da delimitação de uma janela de 45° em torno de cada direção principal, como mostra a Figura 5.12, no qual foi feita a análise da média mensal da direção dos ventos, como mostra a Tabela 5.8.

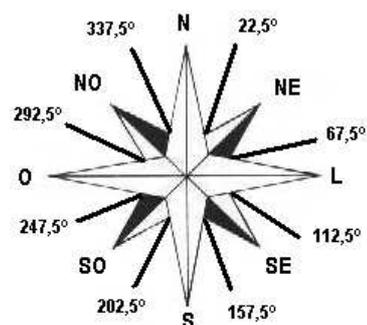


Figura 5.12: Diagrama utilizado na classificação das direções principais

Tabela 5.8: Direção dos Ventos (Jul/07 a Fev/09).

Mês	Direção dos Ventos	Mês	Direção dos Ventos
Jul/07	SE	Mai/08	S
Ago/07	SE	Jun/08	-
Set/07	SE	Jul/08	-
Out/07	S	Ago/08	-
Nov/07	S	Set/08	S
Dez/07	S	Out/08	S
Jan/08	S	Nov/08	SE
Fev/08	S	Dez/08	N
Mar/08	S	Jan/09	N
Abr/08	S	Fev/09	N

Pode-se observar na Tabela 5.8 que na estação meteorológica Hobo, durante o período de julho/2007 a novembro/2008 a predominância da direção dos ventos é para o sentido sul (S) e sudeste (SE). No período de dezembro/2008 a fevereiro/2009 a direção dos ventos apresentou-se na direção norte (N) diferentemente do ano anterior onde a direção dos ventos foi na direção sul.

Comparando os dados de velocidade e direção dos ventos (Tabela 5.7 e Tabela 5.8) observa-se que nos meses de julho, agosto e setembro de 2007 a direção do vento é predominantemente na direção sudeste (SE), período onde observam-se as maiores velocidades dos ventos.

5.3.1.2 Comparação entre as Estações Hobo, São João e INMET.

Com o intuito de se avaliar a confiabilidade do monitoramento dos dados meteorológicos obtidos pela estação Hobo, foram comparados seus dados com os da estação meteorológica São João, durante o período de julho/2007 a março/2008. As estações meteorológicas Hobo e São João distam entre si, aproximadamente 19km.

Em virtude dos dados de precipitação da estação São João, não apresentaram confiabilidade durante o período estudado, comparou-se os dados com a estação meteorológica do INMET, localizada na cidade de Palmas-TO, distante aproximadamente 17,5km da estação Hobo. A Figura 5.13 mostra a localização das estações meteorológicas no município de Palmas-TO.

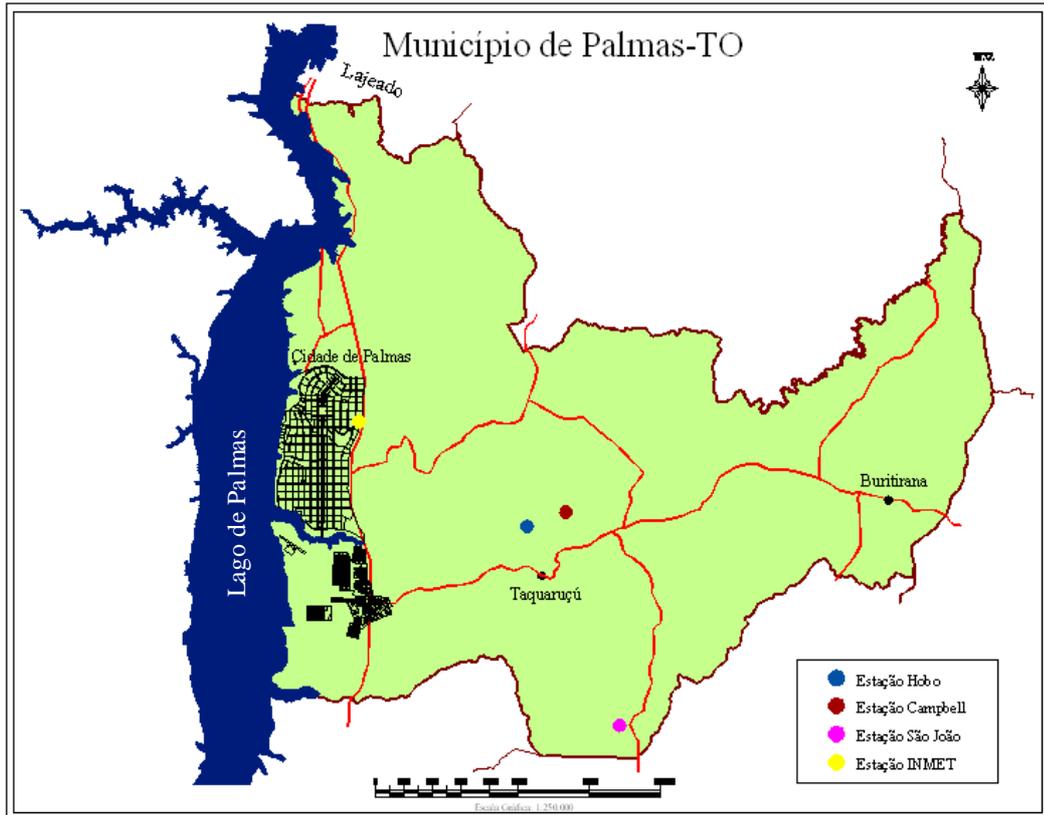


Figura 5.13: Localização das estações meteorológicas.

A Figura 5.14 apresenta a precipitação acumulada mensal obtida pelas estações Hobo e INMET, no período de julho/2007 a fevereiro/2009. Os resultados obtidos indicam que o maior índice de pluviosidade na estação Hobo ocorre no mês de novembro/2008, enquanto que o maior índice de pluviosidade na estação INMET ocorre no mês de fevereiro/2009.

Os menores índices de pluviosidade ocorrem durante o mês de setembro/2008 em ambas as estações. Observa-se que, ao longo do período analisado, os dados de precipitação apresentam poucas discrepâncias entre si, com maiores variações nos meses de março/2008 e abril/2008. Essas diferenças podem ser atribuídas ao fato da estação Hobo estar localizada em uma área rural enquanto que a estação INMET encontra-se em uma área urbana sujeita a outras interferências. Outro aspecto importante a ser considerado é que as duas estações estão localizadas em regiões com altitudes bem diferentes (estação Hobo: 648m, estação INMET: 292m) o que contribui para variação dos dados de precipitação.

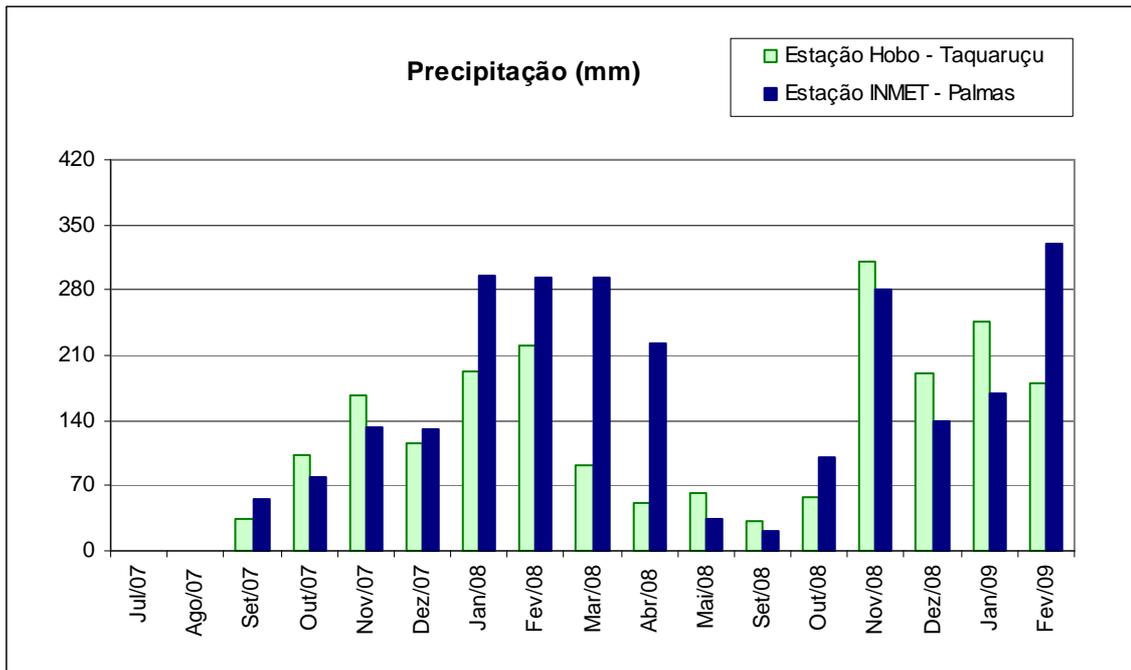


Figura 5.14: Precipitação Acumulada Mensal.

Comparando os dados das estações meteorológicas Hobo e São João, observa-se que ambas as estações apresentam uma dinâmica semelhante no que se refere à variação da temperatura do ar (Figura 5.15a). No entanto, a temperatura do ar na estação São João situa-se, em média, 0,5°C abaixo da temperatura da estação Hobo.

As temperaturas mantêm-se acima de 22 °C, sendo que as máximas são de 26,9°C e 27,0°C e, as mínimas, 23,0°C e 22,5°C na estação Hobo e estação São João, respectivamente. Esses valores devem-se, provavelmente, à localização das estações, pois ambas estão localizadas em uma área rural e com características topográficas semelhantes.

Quanto à umidade relativa do ar (Figura 5.15b), as estações Hobo e São João apresentaram uma variação mínima entre si de cerca de 8% em um mesmo período. A umidade relativa do ar máxima foi de 96,2% e 88,3%, e mínima de 33,6% e 32,6%, respectivamente.

O ponto de orvalho na estação Hobo é sempre maior do que na estação São João, com variação máxima de 2,6°C. Entretanto, o ponto de orvalho em ambas estações possui um padrão semelhante, apresentando os menores valores nos meses de agosto e setembro (período de estiagem) aumentando gradativamente a partir do mês de outubro quando se inicia o período chuvoso, como mostra a Figura 5.15c.

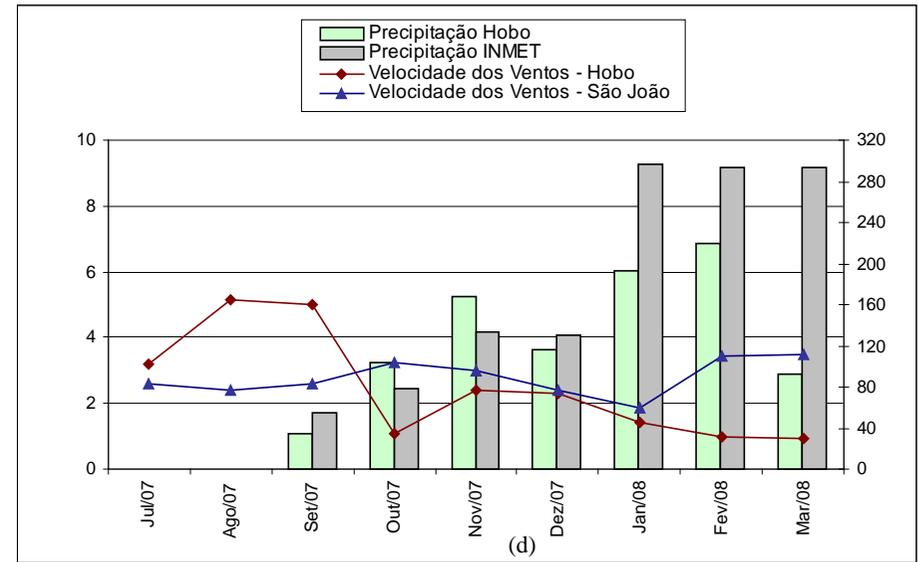
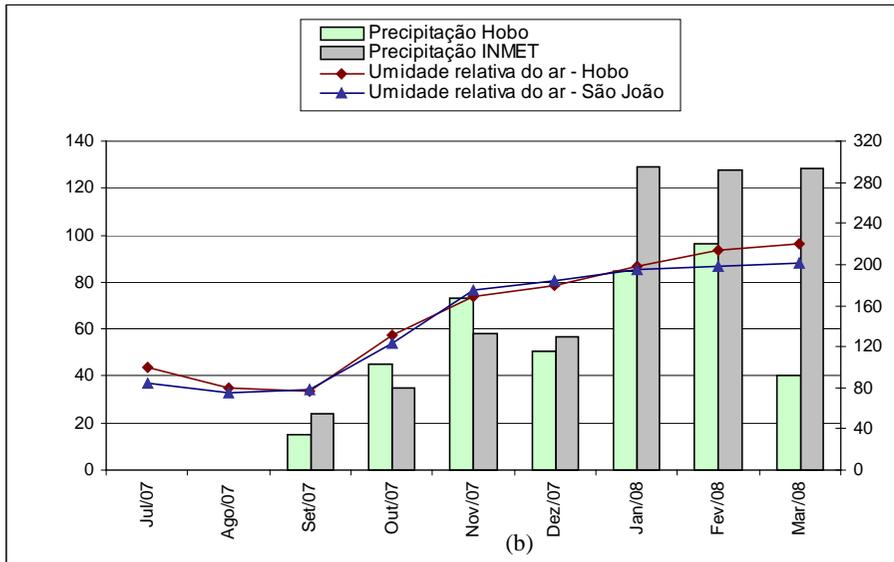
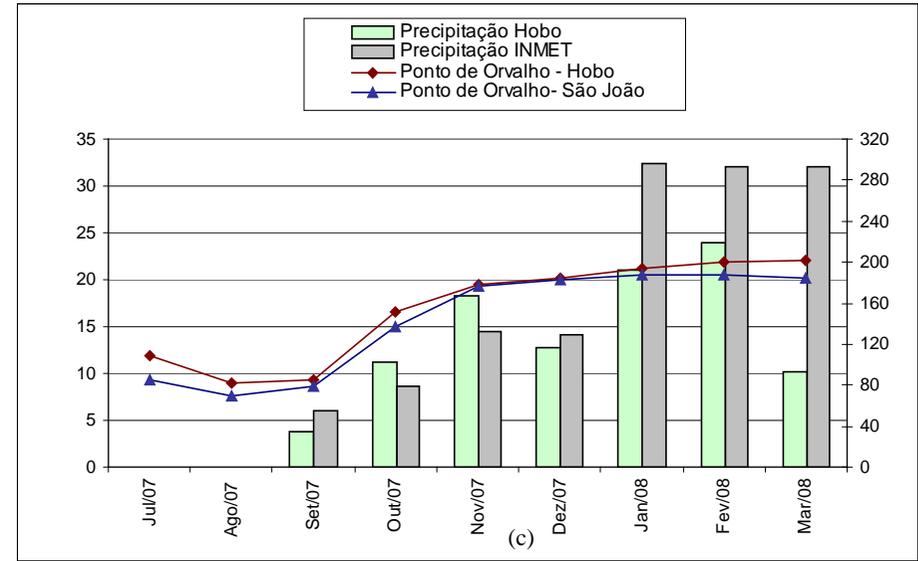
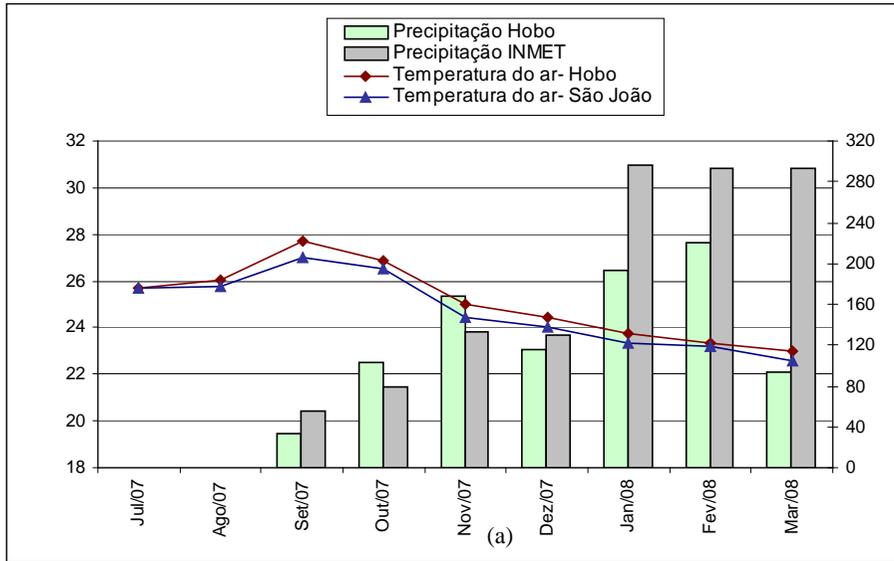


Figura 5.15: Médias mensais da temperatura, umidade do ar, ponto de orvalho, velocidade dos ventos e precipitação acumulada (Jul/07 a Mar/08)

Quanto à velocidade do vento, a estação Hobo apresentou os maiores valores em relação à estação São João, durante os meses de julho, agosto e setembro (Figura 5.15d). Sendo que a maior variação ocorreu no mês de agosto, variando 2,8 km/h. A partir do mês de outubro essa situação se reverte, com os maiores valores sendo registrados na estação São João, com variação em torno de 2,5km/h. Isto pode ser explicado pela associação de diversos fatores, dentre eles a vegetação em torno da região onde se encontram as estações. Entretanto, apesar de apresentar algumas diferenças na velocidade do vento, nota-se que essa variação é relativamente pequena.

5.3.1.3 Comparação entre as Estações Hobo e Campbell

A Figura 5.16 mostra a precipitação acumulada quinzenal medida pelas duas estações meteorológicas (Hobo e Campbell), no período de 12/11/2008 a 06/02/2009. Observa-se que a precipitação medida pela estação da Campbell é, em geral, maior do que na estação da Hobo (exceto para o mês de dezembro). Esse comportamento pode decorrer do fato de que a estação Campbell está localizada em uma área de mata-de-galeria e margeada por morros, o que favorece o aumento na precipitação, enquanto que a estação Hobo está localizada em uma área mais alta e aberta (pastagem). As duas estações distam, entre si, aproximadamente 3,5km.

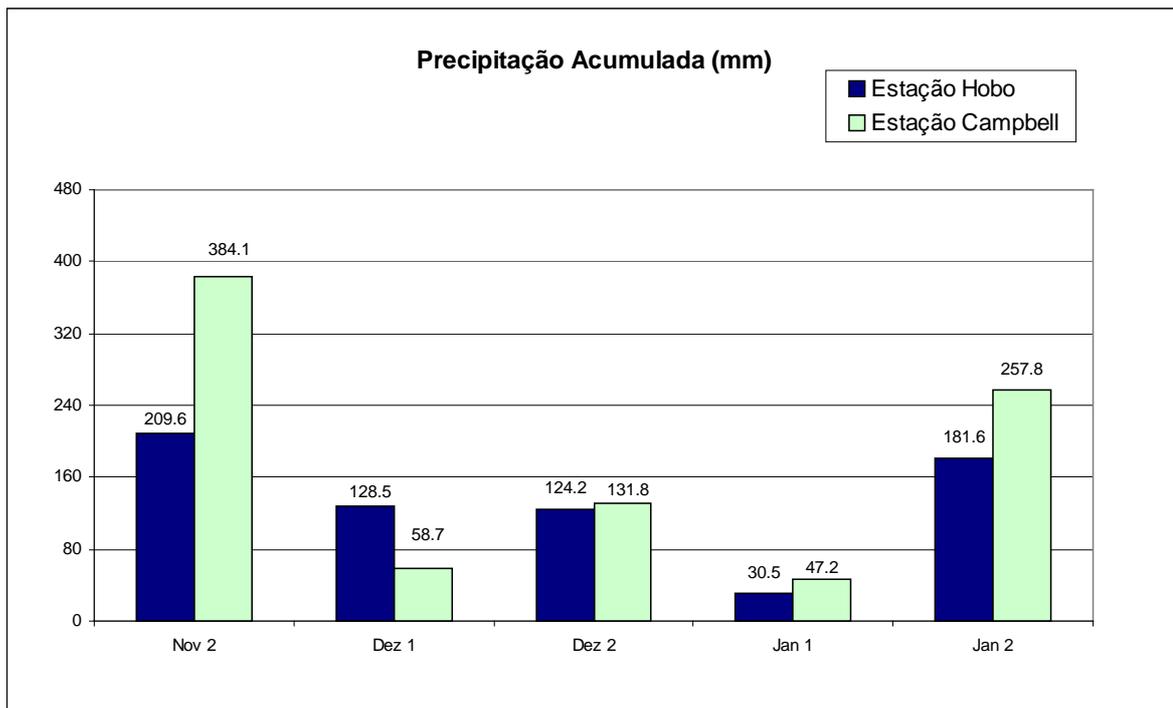


Figura 5.16: Precipitação Acumulada Quinzenal no período de novembro/08 a janeiro/09.

A Figura 5.17 apresenta as médias diárias de temperatura do ar. Observa-se um padrão de variação muito semelhante, para ambas as estações. As temperaturas, para o período de análise, ocorrem na faixa de 21 a 28° C sendo as máximas registradas de 27,5°C e 27,1°C e, as mínimas, 21,1°C e 20,9°C na estação Hobo e na estação Campbell, respectivamente.

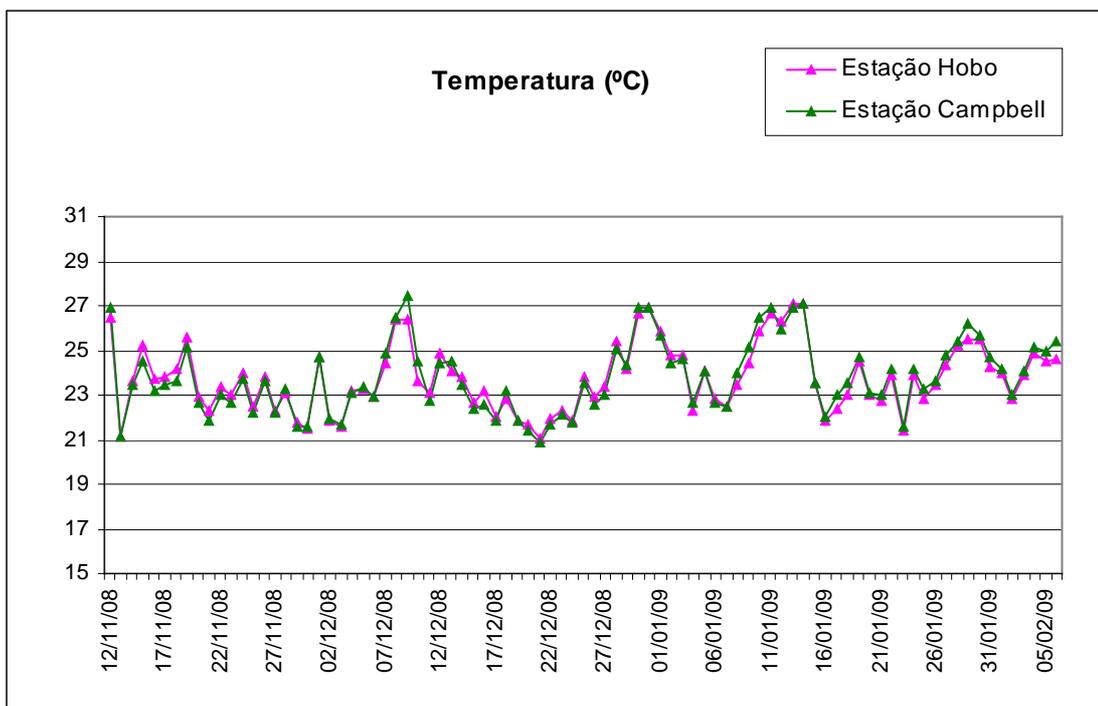


Figura 5.17: Temperatura média diária.

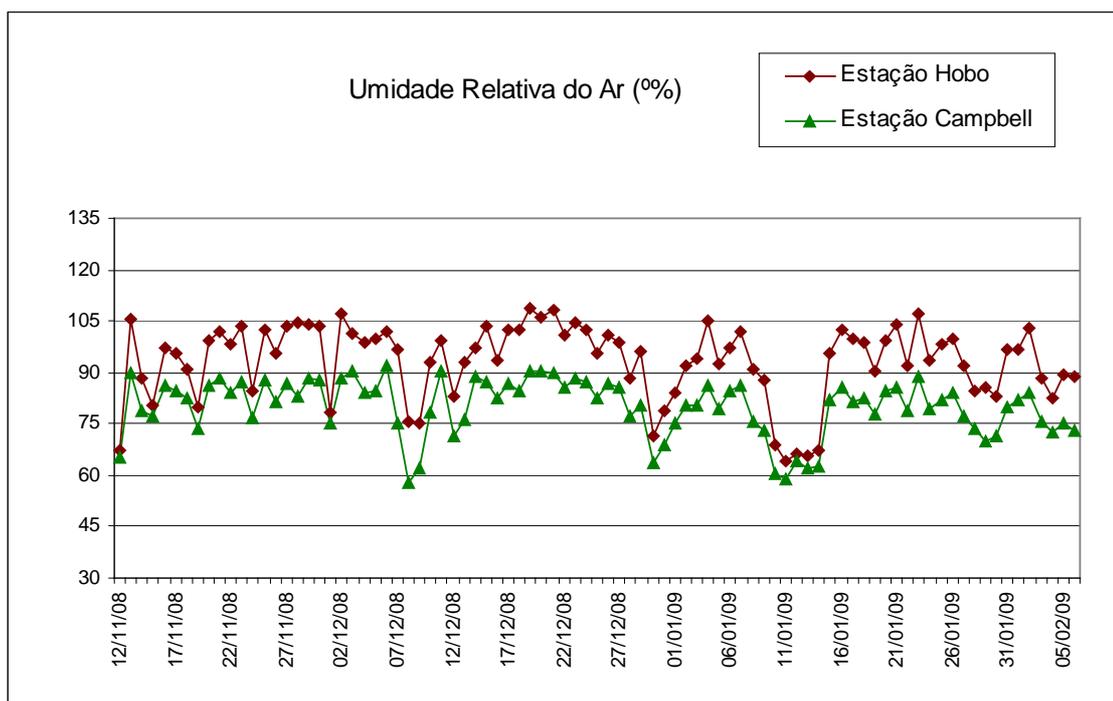


Figura 5.18: Umidade média relativa do ar.

Quanto à umidade relativa do ar, no período estudado, o teor de umidade é mais alto na estação Hobo, variando em média 13% a mais em relação à estação Campbell, como mostra a Figura 5.18. A umidade relativa do ar varia 64 a 108% na estação Hobo, e de 57 a 92% na estação Campbell.

Comparando-se as duas estações observa-se que a velocidade dos ventos na estação Campbell é bem maior do que na estação Hobo (Figura 5.19). A velocidade dos ventos apresentou valores variando de 0,5 km/h a 5,2 km/h, na estação Hobo e de 2,1 km/h a 7,2 km/h, na estação Campbell. Essa variação provavelmente deve-se ao fato da estação Campbell estar localizada a uma altura de aproximadamente 20 metros do solo, onde a velocidade dos ventos tende a ser maior. Outro fator importante pode estar relacionado à influência do relevo da região na velocidade dos ventos (serra, altitude).

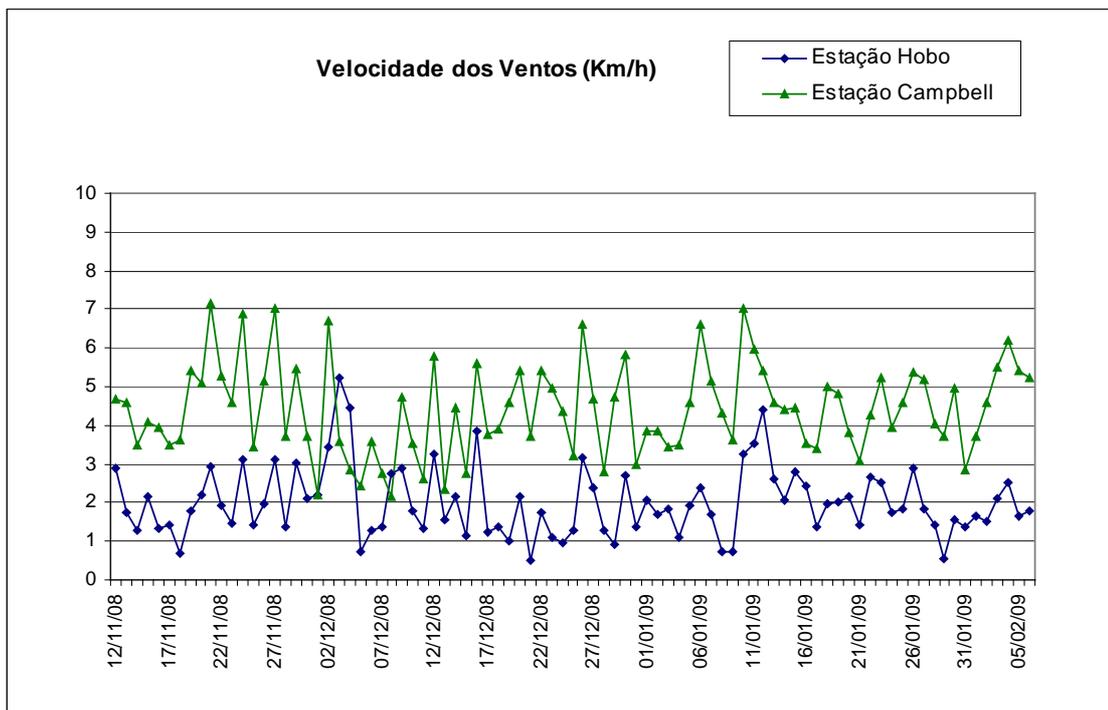


Figura 5.19: Velocidade dos ventos.

Para verificar a consistência das informações coletadas pela estação Hobo, Filho et al. (2008) compararam os dados meteorológicos da estação Hobo, localizada em Taquaruçu - TO, com a estação do INMET, localizada na região central de Palmas – TO, no período de julho/07 a maio/08, e concluíram, a partir do estudo comparativo, que, apesar das diferenças, os dados obtidos na estação do Taquaruçu são coerentes com os dados obtidos pela estação do INMET, levando-se em conta a localização das estações.

5.3.2 Análise do Teor de Umidade do Solo

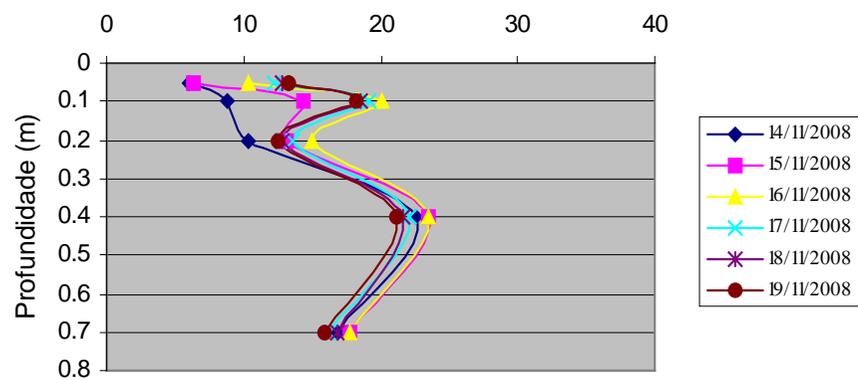
A Figura 5.20 apresenta os valores do teor de umidade volumétrica no solo medidos por meio dos sensores de umidade (FDR's) instalados junto à estação meteorológica da Campbell. Para essa análise, foram considerados 5 eventos meteorológicos. Os eventos foram selecionados de forma a englobar um dia chuvoso seguido ou intercalado por dias secos. A idéia era observar a resposta dos sensores à variação de umidade do solo decorrente de uma variação na precipitação. Adicionalmente procurou-se identificar, dentre os 5 eventos, dias chuvosos com diferentes intensidade de chuva. A variação do teor de umidade do solo em função da precipitação diária acumulada é apresentada na Figura 5.21.

Conforme descrito na metodologia, os sensores de umidade tipo FDR foram instalados a uma profundidade máxima de 85 cm. Para uma análise do perfil de solo predominante na área de instalação desses sensores, tomou-se por base a sondagem S2, localizada nas proximidades da estação de Campbell. Observa-se, através dos resultados apresentados anteriormente que, nesse perfil, até a profundidade de 1,45m, o solo apresenta predominância de material argiloso (~50%) seguido de areia (40%) e silte (10%). Nessa camada, o teor de matéria orgânica é da ordem de 7,5%.

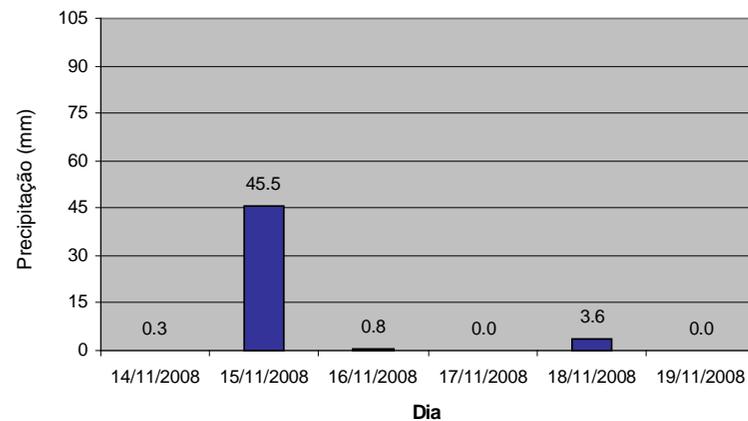
Apesar das análises indicarem um perfil de solo aproximadamente homogêneo até a profundidade de 1,45m, observa-se que a variação do teor de umidade ao longo desse perfil não é constante. De uma maneira geral, independente do evento, observa-se uma diminuição do teor de umidade do solo na profundidade de 0,20m (em torno de 15%) em comparação com valores na superfície. Exceção para esse comportamento é observada no evento 1 e é atribuída ao fato de se tratarem dos primeiros dias de funcionamento dos sensores, que levam um tempo para se estabilizarem.

Um outro aspecto importante observado nessas curvas é o aumento do teor de umidade para valores próximos ao da superfície, na camada de 0,40m. Por fim, abaixo dessa camada e até a profundidade de 0,70m, observa-se uma nova tendência à diminuição do teor de umidade com a profundidade.

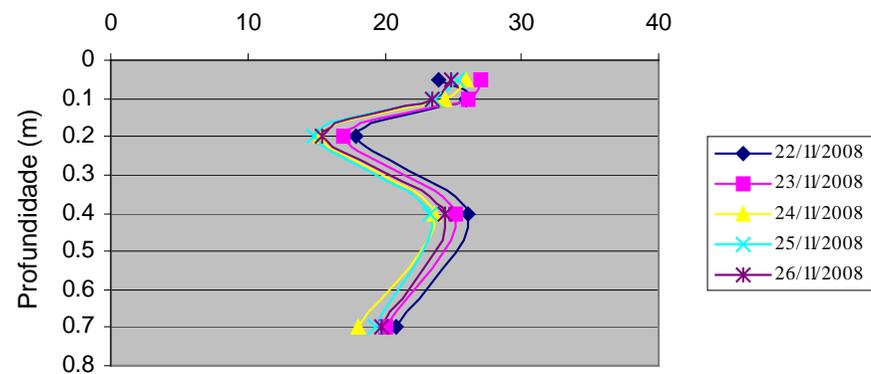
Teor de Umidade Volumétrica % (Evento 1)



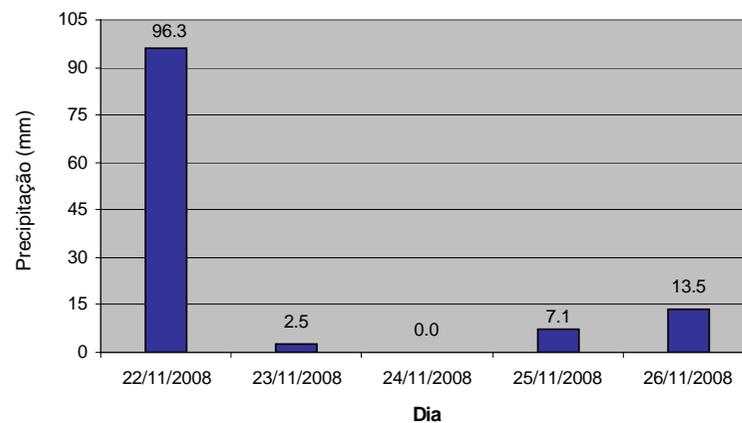
Precipitação (Evento 1)



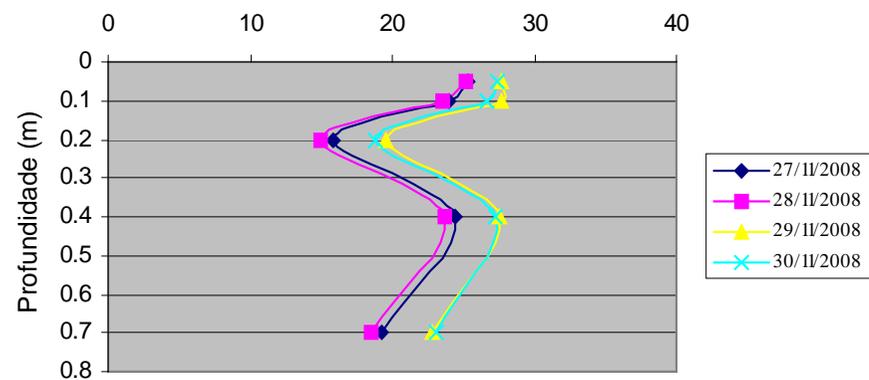
Teor de Umidade Volumétrica % (Evento 2)



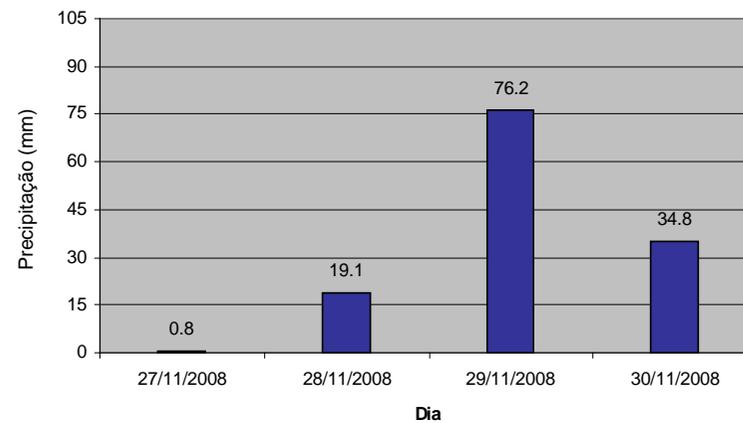
Precipitação (Evento 2)



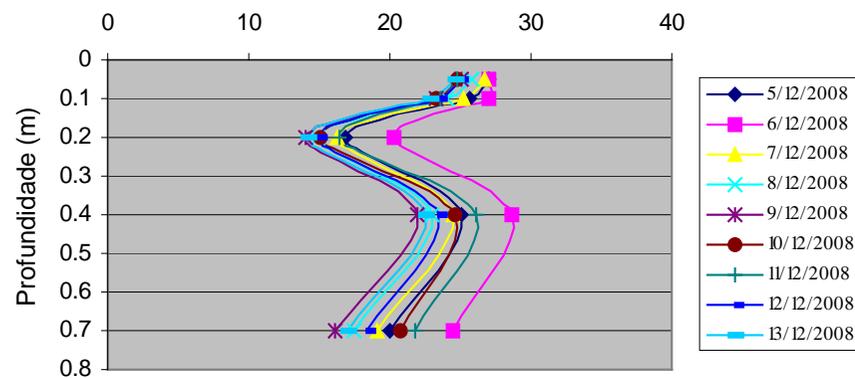
Teor de Umidade Volumétrica% (Evento 3)



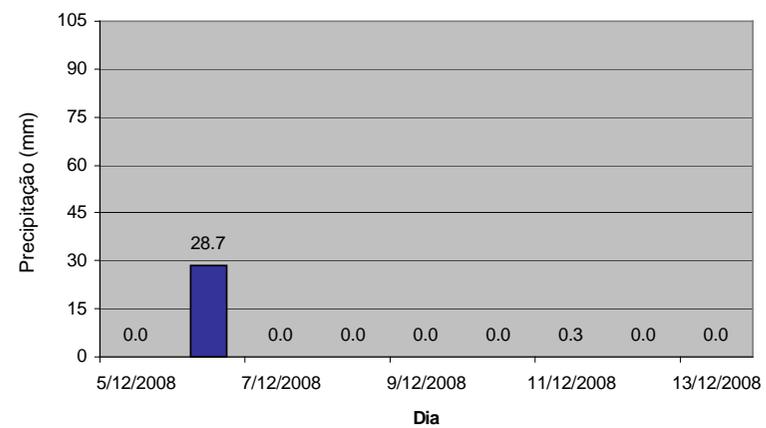
Precipitação (Evento 3)



Teor de Umidade Volumétrica% (Evento 4)



Precipitação (Evento 4)



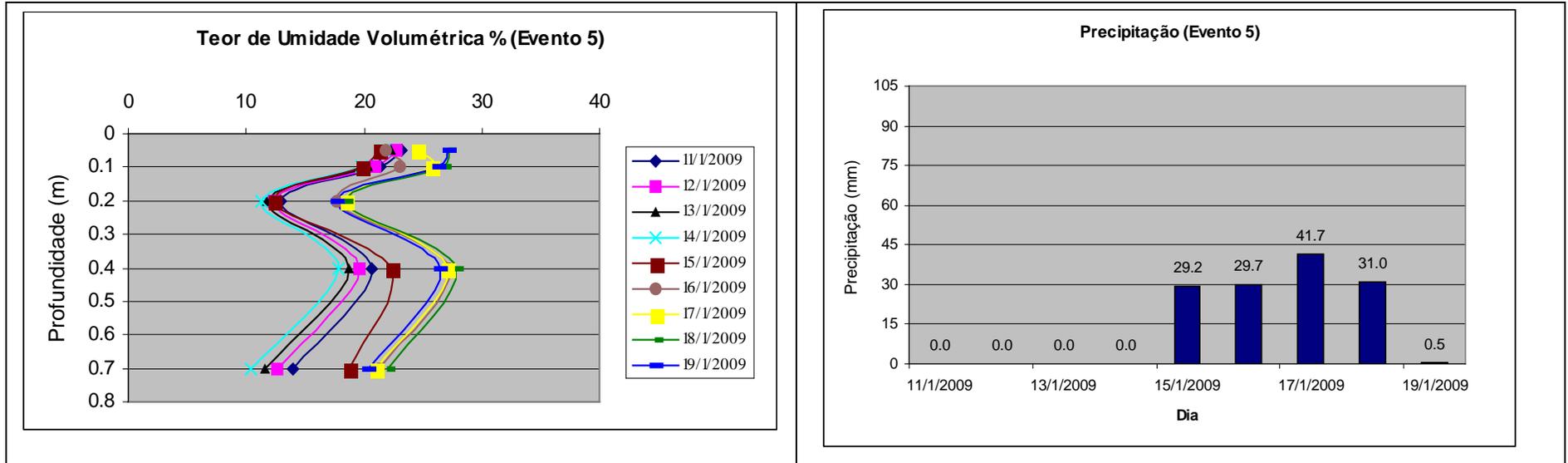


Figura 5.20: Teor de umidade volumétrica no solo e precipitação diária (Evento 1 a e 5).

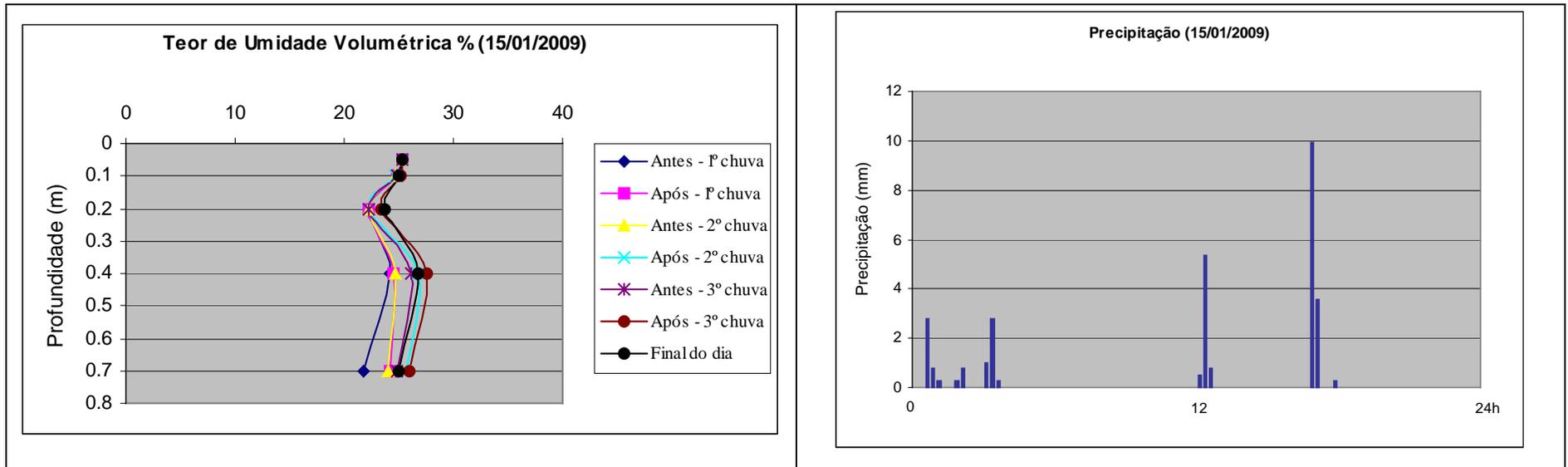


Figura 5.21: Teor de umidade volumétrica no solo e precipitação diária (Dia 15/01/2009).

Embora não se tenham dados para analisar a variação do teor de umidade ao longo da mesma profundidade de análise atingida pela sondagem (9,24m), avalia-se que exista uma tendência a um maior armazenamento de umidade nas camadas superficiais, em decorrência do elevado teor de argila e matéria orgânica. A diminuição expressiva e consistente da umidade na camada de 0,20m pode ser explicada, provavelmente, pela maior concentração de raízes nessa profundidade. Análise semelhante foi feita por Bruno et al. (2006) para explicar a diminuição da umidade do solo na profundidade de 3m, durante o período seco, na Floresta de Tapajós.

O anexo A apresenta as tabelas com os valores do teor de umidade do solo em cada camada durante os 5 eventos.

O anexo B mostra a precipitação acumulada diária durante todo o período de análise da umidade do solo.

5.3.3 Variação do lençol freático e Direções de fluxo de superfície.

A Figura 5.22 apresenta a localização dos poços de observação na micro-bacia, tendo como base a imagem de satélite obtida no software Google Earth. Os poços de observação estão localizados no entorno do curso d'água principal e próximos à estação meteorológica da Campbell. A área de estudo não apresenta poços de observação na área mais ao norte devido ao relevo bastante acidentado, o que dificulta o acesso a essas áreas e, conseqüentemente, à coleta de dados.

A Figura 5.23 apresenta o modelo digital do terreno em projeção ortográfica com 45° de inclinação no eixo x e 45° de rotação no eixo y juntamente com a direção e magnitude do fluxo d'água obtido a partir dos dados do levantamento topográfico planialtimétrico. As setas indicam a direção do fluxo e o comprimento da mesma indica a magnitude do fluxo d'água. Os poços de observação S1, S4, P1 ao P4, P7, P8 e P16 estão localizados nas regiões mais baixas e estão mais suscetíveis a receber a água que escoar superficialmente. O fluxo de água ocorre das regiões sudeste e noroeste para a região nordeste onde está localizado o exutório da micro-bacia.

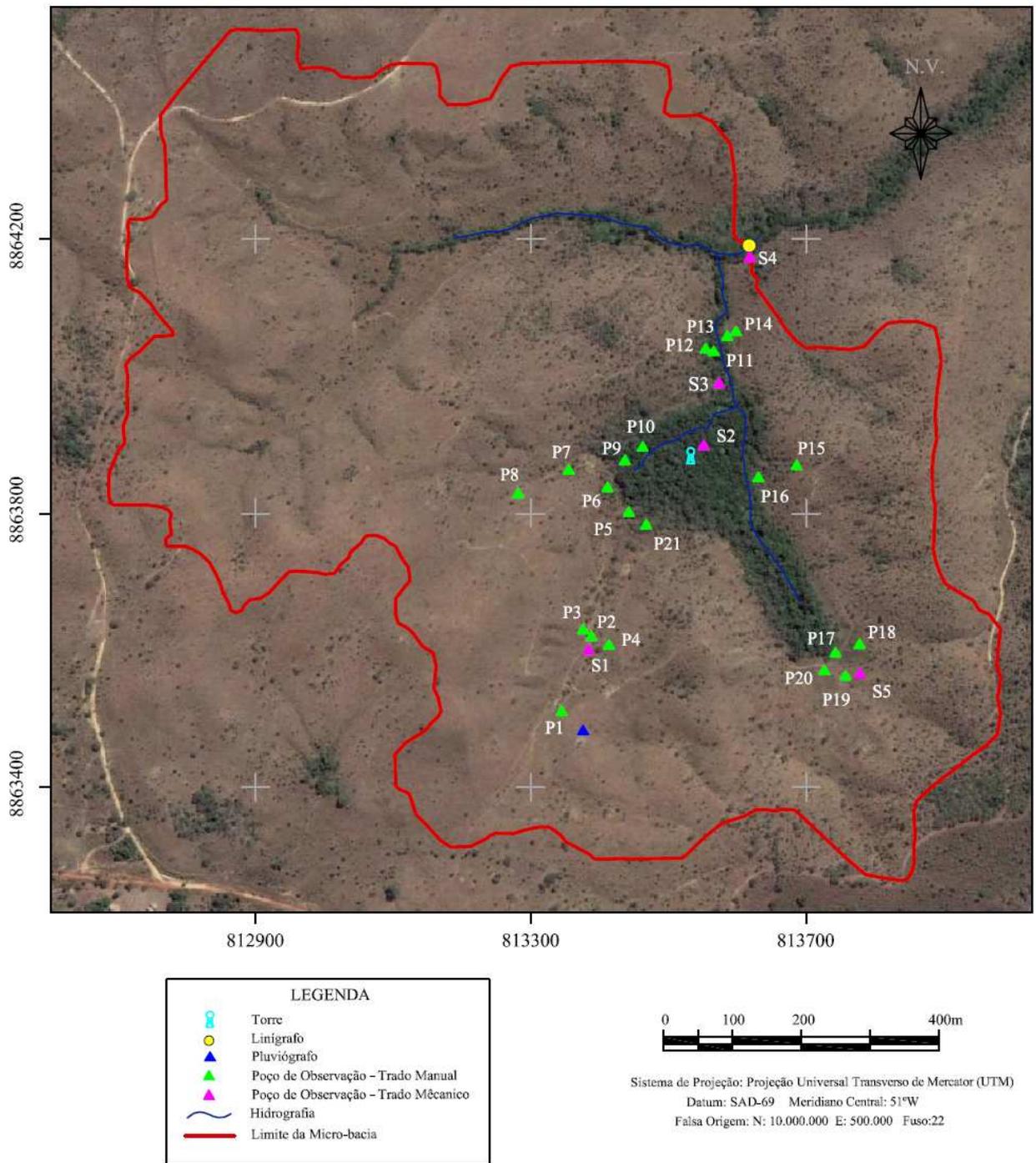


Figura 5.22: Localização dos poços de observação na micro-bacia.

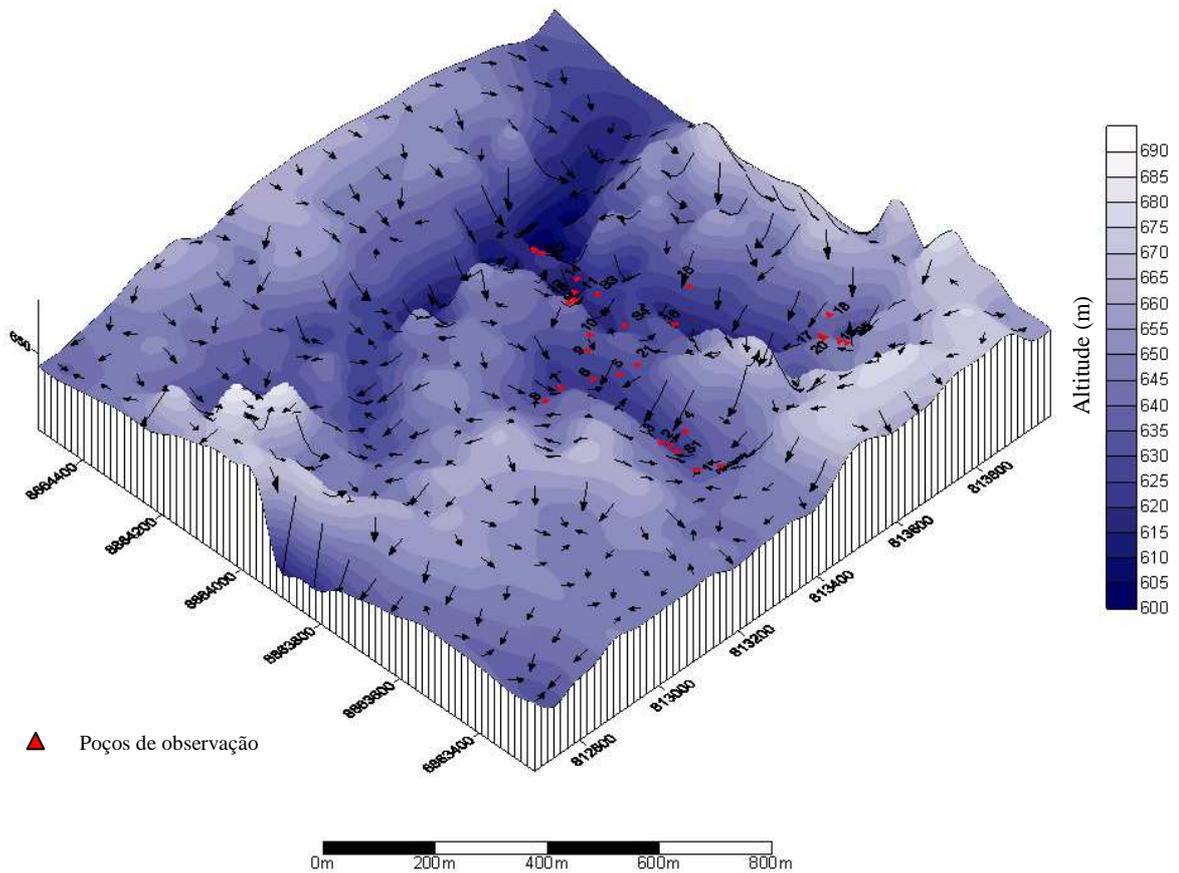


Figura 5.23: Fluxo d'água na micro-bacia.

A Figura 5.24 mostra uma junção entre o mapa de uso e cobertura da terra no ano de 2008 e os poços de observação. Os poços P9 ao P12, P16, P17 e S2 estão localizados em área de floresta e os demais estão localizados em área de campo rupestre.

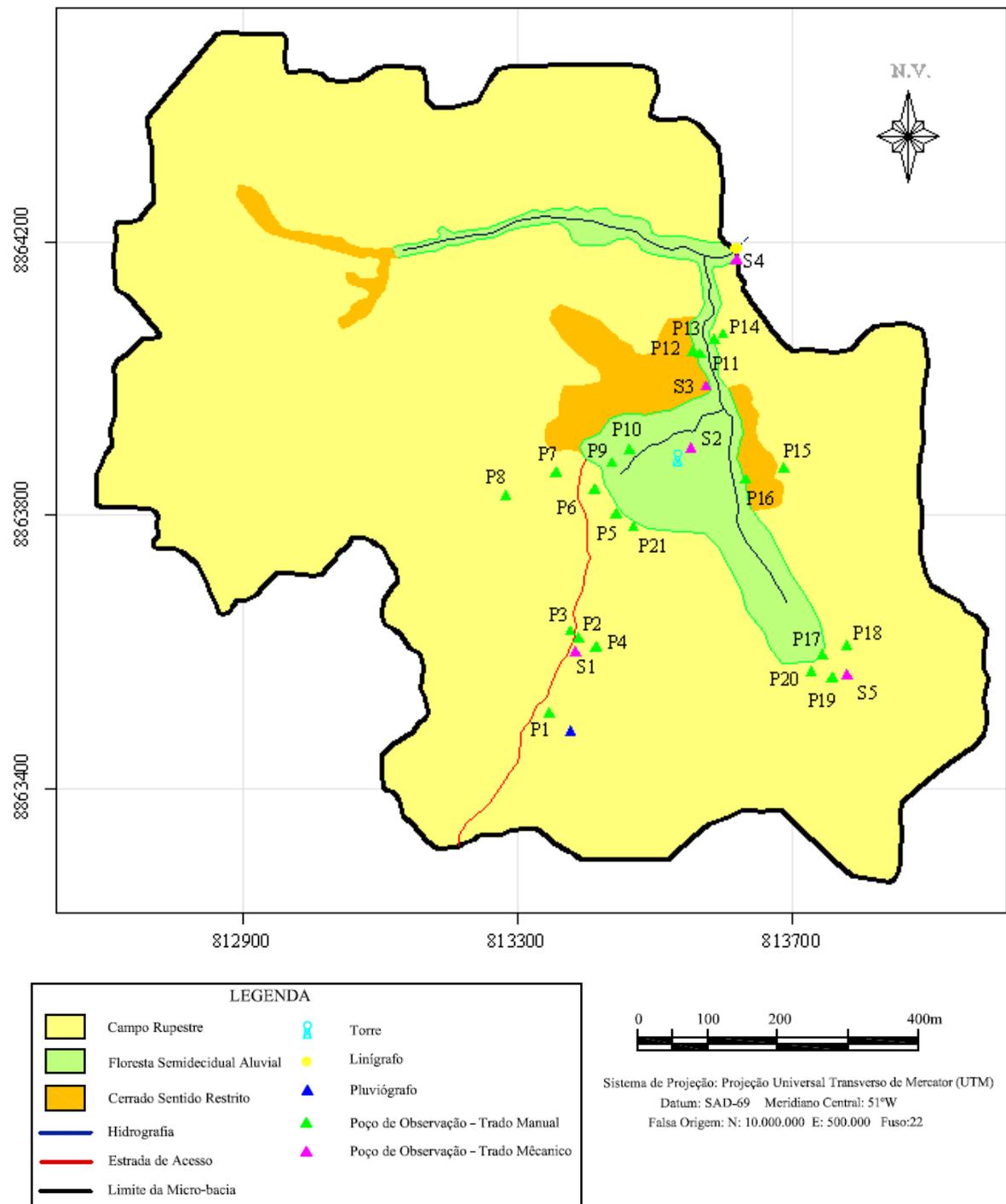


Figura 5.24: Mapa de uso e cobertura da terra com os poços de observação.

5.3.3.1 Monitoramento do Lençol Freático

Para entendimento da variação do lençol freático, os poços observação (P1 a P21) e os poços de sondagem (S1 a S5) foram agrupados segundo a posição que ocupam na bacia. Para tanto, 5 agrupamentos foram feitos, os quais estão apresentados na Tabela 5.9. O Grupo 1 refere-se aos poços de observação (S5, P17 ao P20), com cotas mais elevadas (variando de 640 a 656m), instalados a sudeste da bacia próximo a uma das nascentes do córrego Buritizal. O Grupo 2 refere-se aos poços instalados ao sul da micro-bacia (S1, P1 ao P4), com cotas intermediárias (629 a 635m) e situados à esquerda do córrego. O Grupo 3 (S3, S4, P11 ao P14) refere-se aos poços instalados nas áreas de cotas mais baixas (609 a 612m), próximas ao exutório, a noroeste da bacia e à direita do córrego. O Grupo 4 refere-se aos poços situados na região central da micro-bacia (P5 ao P10, P21) e na margem esquerda do córrego. O Grupo 5 compreende os poços P15 e P16, na margem esquerda, situados em cotas intermediárias (632 a 643m) e o furo de sondagem, S2 localizado em uma das cotas mais baixas da bacia (616m), dentro da mata de galeria e próximo à torre onde foi instalada a estação da Campbell.

Tabela 5.9: Divisão dos poços de observação em grupos segundo a sua localização.

Poço	Cota (m)	Prof. (m)	Cota fundo (m)	Varição N.A. (máx.)	Varição N.A. (mín.)	Situação
GRUPO 1						
S5	641.1	7.1	634.0	6.2	1.7	sempre molhado
P17	633.3	2.6	630.7	1.7	0.0	sempre molhado
P18	655.4	2.0	653.4	1.8	0.0	seca eventualmente
P19	640.1	2.1	637.9	0.8	0.0	seca eventualmente
P20	637.3	2.0	635.3	0.7	0.0	seca eventualmente
GRUPO 2						
S1	629.8	5.1	624.7	1.4	0.0	seca eventualmente
P1	634.6	1.5	633.1	0.5	0.0	seca eventualmente
P2	629.0	2.6	626.4	0.0	0.0	sempre seco
P3	630.3	2.3	628.0	0.6	0.0	seca eventualmente
P4	630.4	2.4	628.0	0.0	0.0	sempre seco
GRUPO 3						
S3	612.1	3.5	608.7	3.0	1.8	sempre molhado
S4	606.2	2.4	603.8	2.1	0.0	seca eventualmente
P11	610.2	2.9	607.3	2.4	1.1	sempre molhado
P12	611.8	3.2	608.6	1.2	0.0	seca eventualmente
P13	609.6	3.3	606.3	2.3	0.0	seca eventualmente
P14	609.5	2.1	607.4	1.5	0.0	seca eventualmente

Poço	Cota (m)	Prof. (m)	Cota fundo (m)	Varição N.A. (máx.)	Varição N.A. (min.)	Situação
GRUPO 4						
P5	620.5	3.1	617.5	1.6	0.0	seca eventualmente
P6	623.1	3.0	620.1	1.6	0.0	seca eventualmente
P7	630.8	2.5	628.3	0.0	0.0	sempre seco
P8	625.8	2.4	623.4	1.7	0.0	seca eventualmente
P9	621.4	2.4	618.9	0.0	0.0	sempre seco
P10	620.1	2.2	617.8	0.0	0.0	sempre seco
P21	623.9	3.1	620.8	0.5	0.0	seca eventualmente
GRUPO 5						
P15	632.8	2.5	630.4	0.0	0.0	sempre seco
P16	619.4	3.0	616.4	1.0	0.0	seca eventualmente
S2 (Torre)	616.0	9.2	606.8	6.9	5.4	sempre molhado

A variação do lençol freático ao longo do período de 01/07/2007 a 20/01/2009 para cada um dos poços de observação desses grupos está apresentada nas Figuras 5.25 a 5.29.

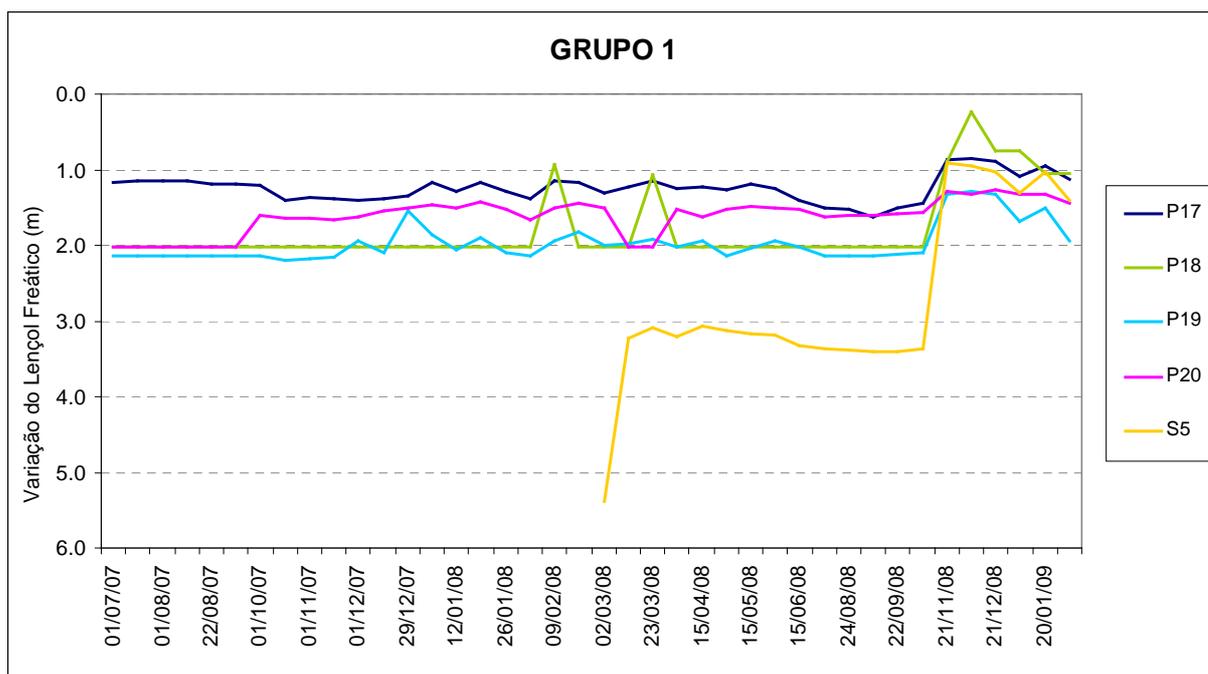


Figura 5.25 – Variação do lençol freático para os poços P17, P18, P19, P20 e S5.

Os poços P17 e P18 do Grupo 1 (Figura 5.25), situados nas cotas mais elevadas da micro-bacia, tiveram profundidade de instalação variando entre 2,0 e 2,6m. Desses, o poço P17 manteve-se quase sempre com água (a pouco mais de 1,0m de profundidade) e os demais secaram eventualmente (principalmente no período seco). O poço P18 manteve-se seco praticamente o ano todo, exibindo elevações pontuais em fevereiro e março de 2008 e uma expressiva elevação no nível d'água (NA) a partir de outubro desse mesmo ano. Nas

proximidades desses poços, foi realizado um furo de sondagem (S5) que atingiu a profundidade de 7,1m. Esse furo acusa o NA a uma profundidade de cerca de 3,2m no período seco de 2008, passando para cerca de 1m no período chuvoso (novembro/08 a janeiro/09). Observa-se que o poço S5 é o que apresenta uma maior oscilação do nível d'água, chegando até 6,2m de variação.

Os poços do Grupo 2 também atingiram profundidades relativamente pequenas, variando entre 1,5m a 2,6m. No entanto, um furo de sondagem realizado nas proximidades (S1) atingiu o impenetrável na profundidade de 5,1m (Figura 5.26). Apesar da baixa profundidade, o poço P1 registrou ocorrência de nível d'água ao longo de todo o período, em profundidades variando de 1,0 a 1,5m. O P3 apresentou elevação do nível d'água no período chuvoso dos anos de 2008 e 2009. No ano de 2008, os aumentos foram pontuais e ocorrem em fevereiro e março de 2008 e, em 2009, o aumento foi contínuo e ocorreu a partir do mês de setembro. O poço de sondagem (S1), registrou nível d'água muito mais profundo que os poços de observação, com valores da ordem de 4,8m nos meses de março, abril e maio de 2008 e da ordem de 4,0m nos meses de dezembro de 2008 e janeiro de 2009.

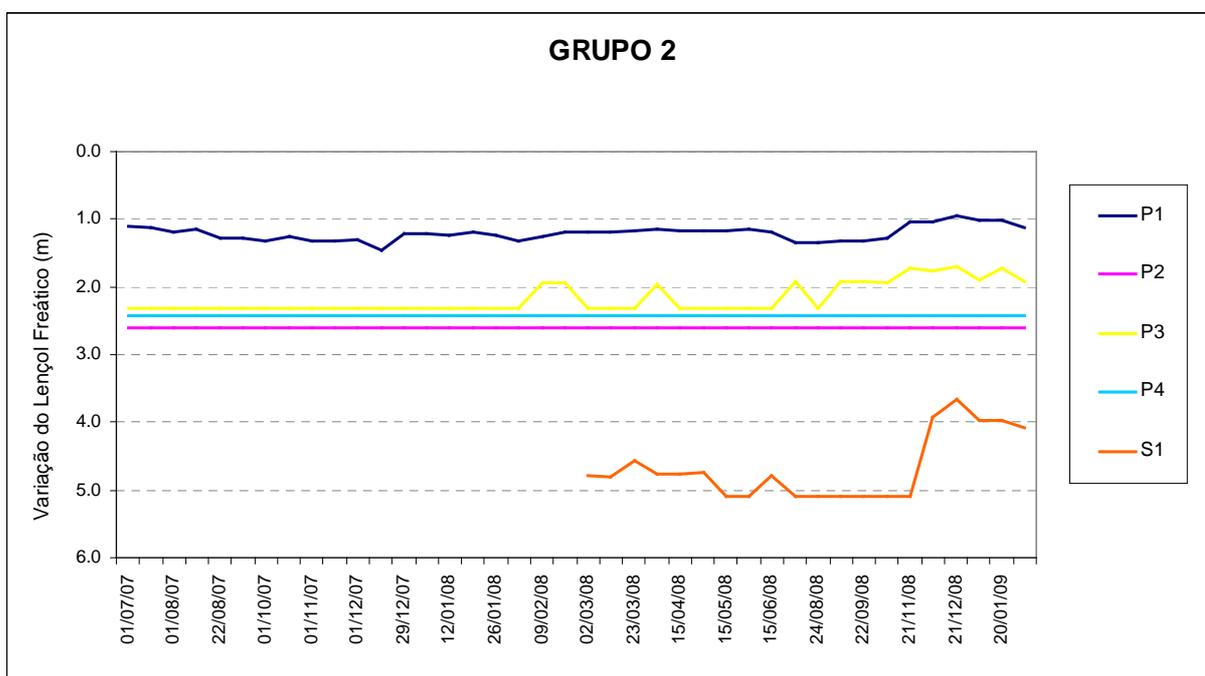


Figura 5.26 - Variação do lençol freático para os poços P1, P2, P3, P4 e S1.

Os poços do Grupo 3 são aqueles localizados nas cotas mais baixas da bacia e próximos ao exutório. Diferentemente dos demais, os poços atingiram profundidades um pouco maiores (entre 2,1 e 3,5m) e semelhantes às profundidades do impenetrável indicadas

pelas sondagens dos poços S3 e S4. Na Figura 5.27 observa-se que o P11 e o S3 registram presença do nível d'água durante o ano todo, oscilando entre 0,5 e 1,8m de profundidade. O P12 e o P14 apresentaram pequenas variações pontuais do nível no período chuvoso de 2008 e uma elevação permanente no período chuvoso de 2008/2009. O P13 apresentou-se bastante sensível à ocorrência de chuva, com expressiva elevação do nível d'água no período chuvoso de 2008 e 2009. O poço relativo à sondagem S4 seca, eventualmente, apresentando ocorrência no nível d'água somente em períodos chuvosos.

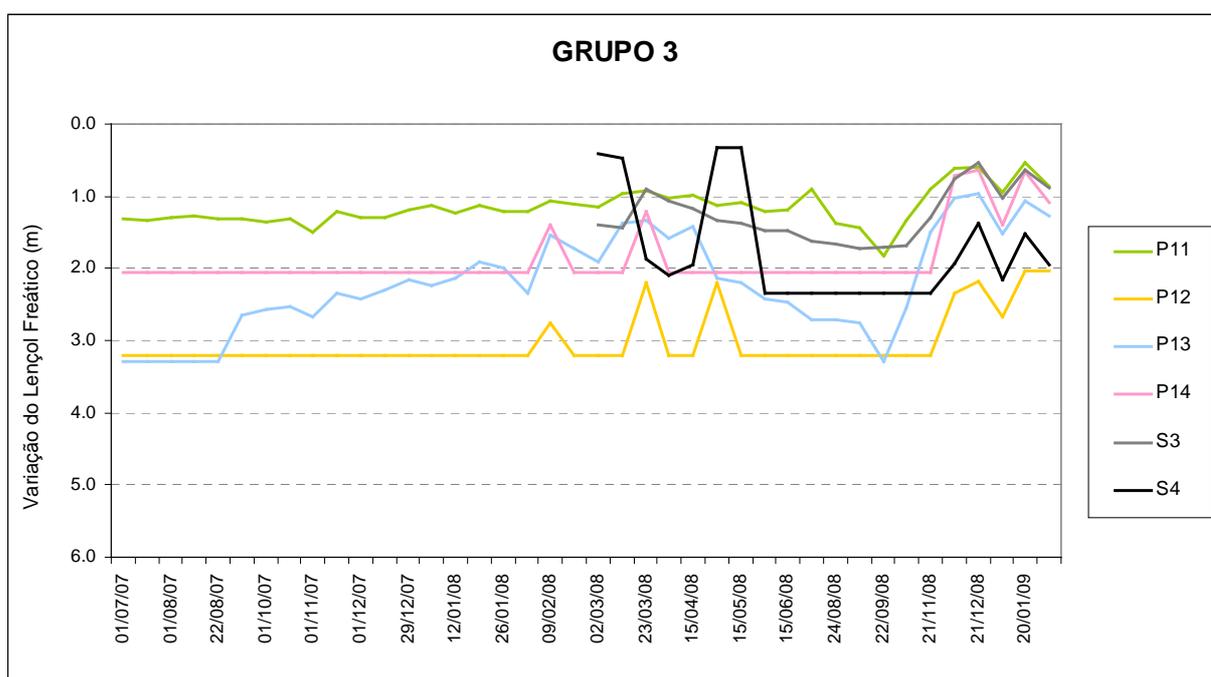


Figura 5.27 - Variação do lençol freático para os poços P11, P12, P13, P14, S3 e S4.

Os poços do Grupo 4 (Figura 5.28) apresentaram secos por todo o período (P7, P9 e P10) ou apresentaram respostas pontuais de aumento do nível d'água em decorrência da chuva (P5, P6, P8 e P21). Assim como nos outros poços, no ano de 2008 os aumentos são pontuais, ou seja, os poços enchem e esvaziam ao longo do mesmo período chuvoso. Já em 2009, a elevação é contínua e os poços apresentam-se com água ao longo de todo o período chuvoso. Nesses poços, tem-se uma profundidade de instalação variando entre 2,2 e 3,1m.

O Grupo 5 compreende os poços P15 e P16 e o poço de sondagem S2. O poço P15 apresenta-se permanentemente seco e o P16 exibiu aumentos pontuais do nível d'água somente no período chuvoso de 2008 (Figura 5.29). A sondagem S2 atingiu cerca de 9m de profundidade e a oscilação no nível d'água, nesse poço, variou de 2,3m no período chuvoso a mais de 3,8m de profundidade, no período seco.

Os poços dos grupos 1, 3 e 4 apresentaram um comportamento semelhante a partir do mês de novembro de 2008 a fevereiro de 2009, onde foram registrados um índice pluviométrico maior do que o ano anterior.

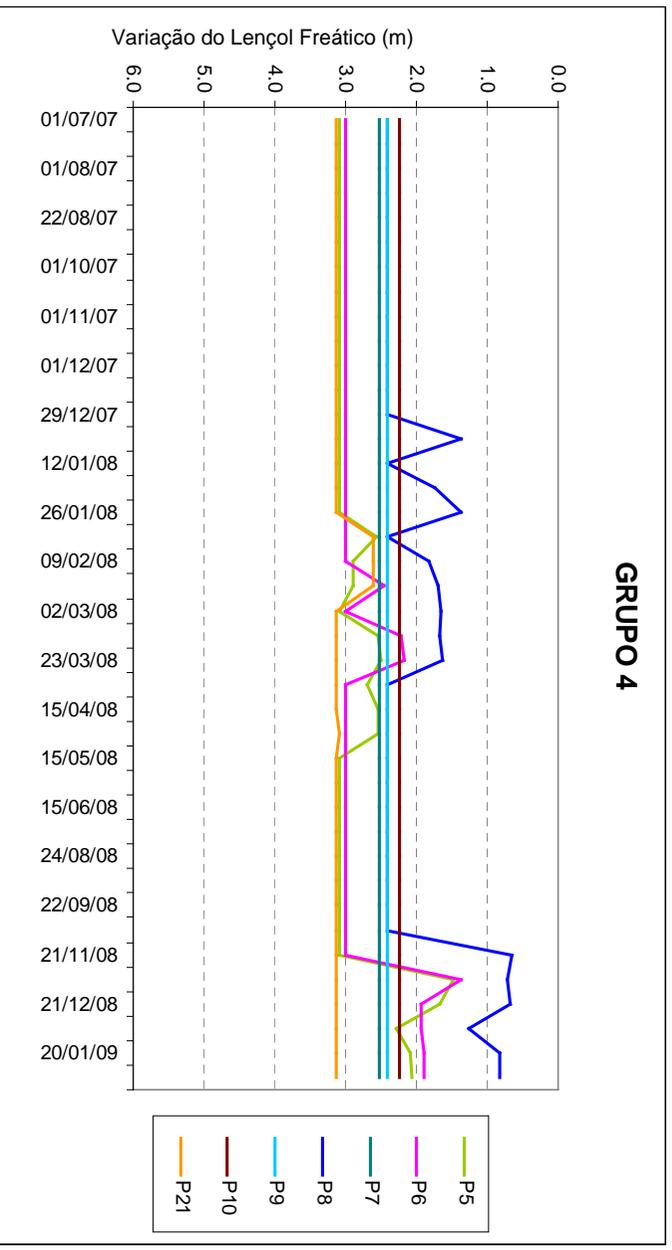


Figura 5.28 - Variação do lençol nível do lençol freático para os poços P5, P6, P7, P8, P9, P10 e P21.

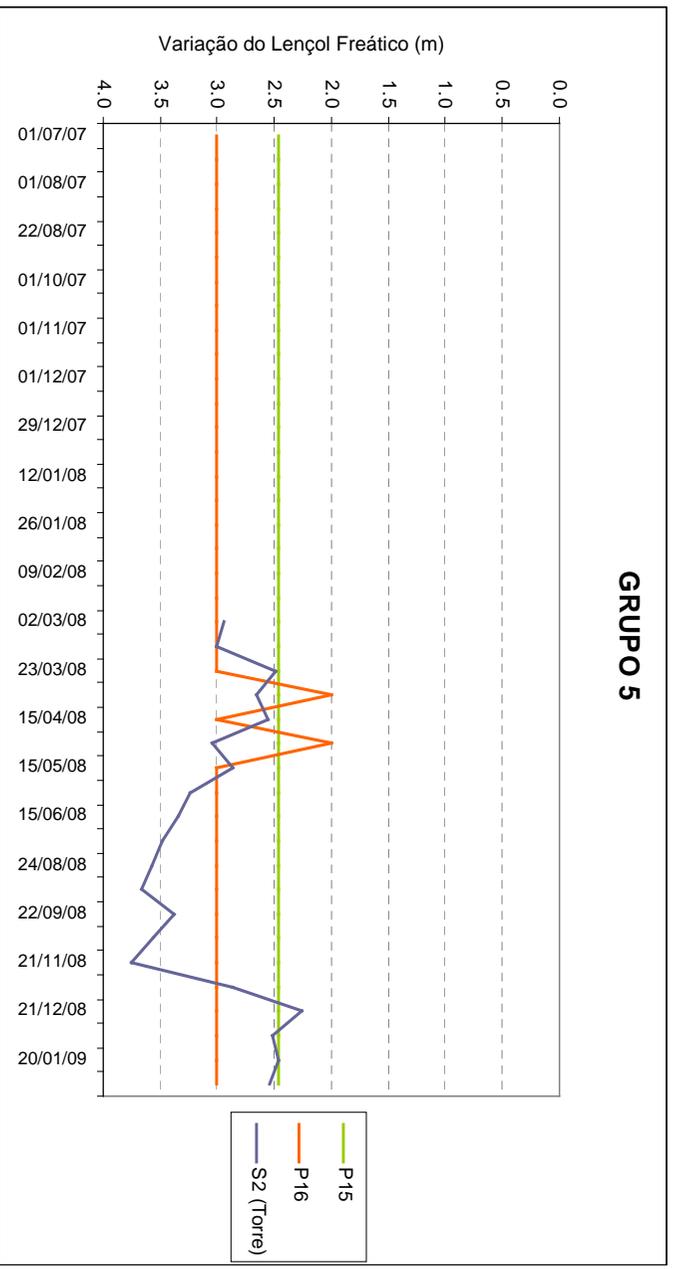


Figura 5.29 - Variação do lençol nível do lençol freático para os poços P15, P16 e S2.

Para uma melhor visualização da variação do lençol freático em relação a topografia da área, foi feita duas seções transversais. A primeira seção transversal (Figura 5.30) compreende a área do poço P1, localizado na área mais alta da bacia, até o S4, localizado na parte mais baixa da bacia e próximo ao seu exutório. E a segunda seção (Figura 5.31) compreende a área do poço P8, localizado mais a oeste da bacia, até o P15, localizado mais a leste da bacia.

Observa-se que os poços S2, S3 e P11 sempre apresentam água, e que os demais poços secam em um determinado período. Os poços localizados na área mais baixa da bacia são os que apresentam o nível d'água máximo mais próximo da superfície do terreno. E apesar de os outros poços apresentarem oscilações no nível d'água, o nível d'água não atinge a superfície.

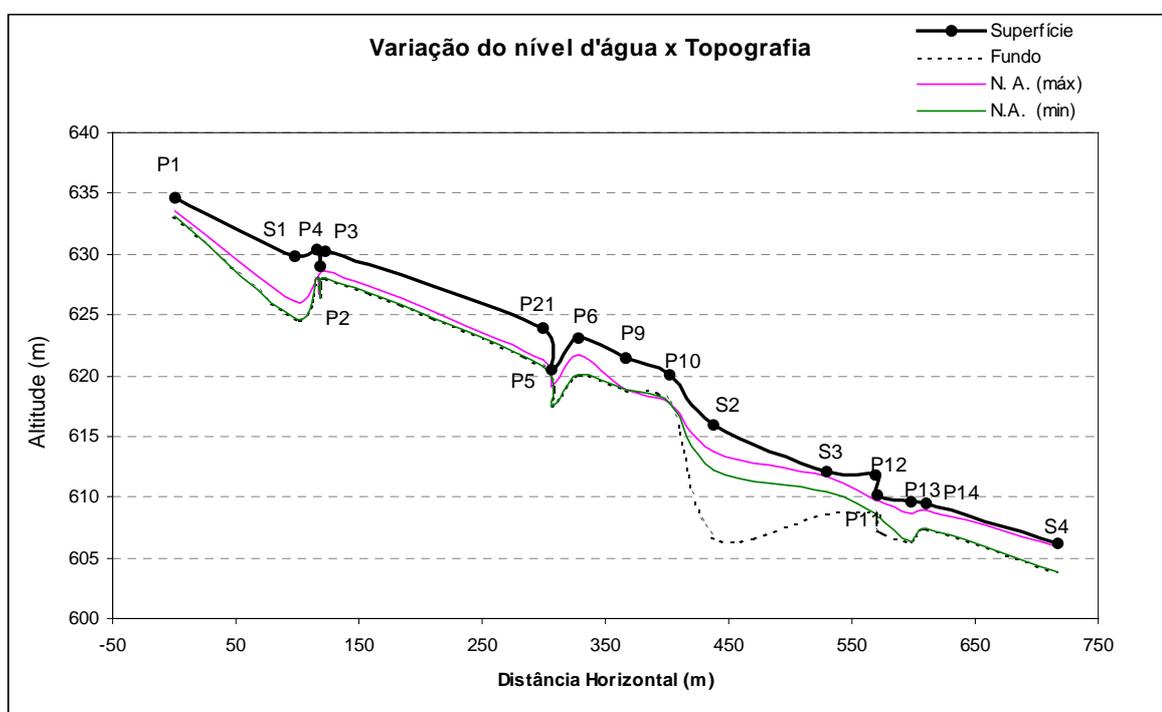


Figura 5.30 - Variação do lençol nível do lençol freático em relação a topografia (Seção 1).

Analisando a Figura 5.31, nota-se que o nível d'água dos poços converge para o poço S2, que apresenta um maior nível d'água. Os poços P7, P9, P10 e P15 não apresentam variação do nível d'água durante o período estudado.

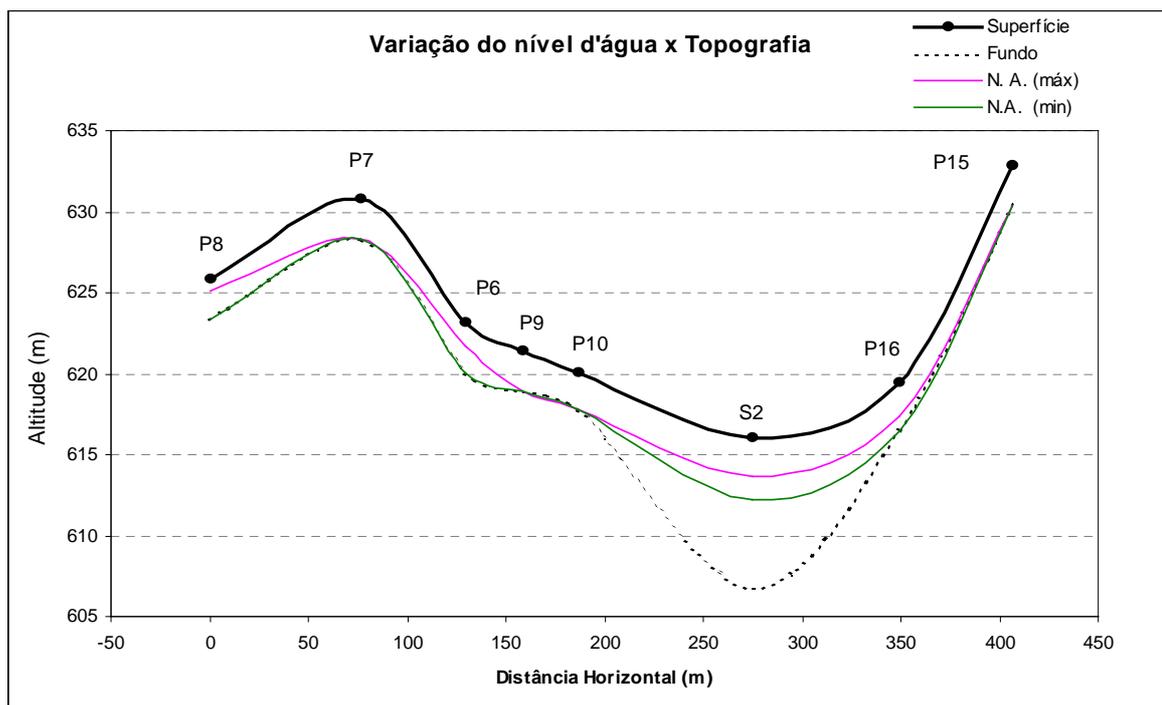


Figura 5.31 - Variação do lençol nível do lençol freático em relação a topografia (Seção 2).

A partir dessas análises, pode-se concluir que, na região mais baixa da bacia, próxima ao exutório (Grupo 3), a camada impermeável localiza-se a cerca de 3m de profundidade. Isso pode ser observado pela relativamente boa concordância entre a profundidade de instalação dos poços de observação e a sondagem S3. Nesse caso, a profundidade do nível d'água no furo de sondagem apresentou-se em boa concordância com aquela observada pelos poços de observação. No entanto, nas cotas mais elevadas (Grupo 1) e nas cotas intermediárias (Grupo 2), as sondagens indicam ocorrência de uma camada impenetrável muito mais profunda do que a profundidade de instalação dos poços de observação. Nesses casos, a profundidade do nível d'água observada nas sondagens é, em geral, maior do que aquela registrada pelos poços de observação. Até o momento, não se encontrou uma explicação plausível para tal comportamento. Uma análise mais detalhada da variação do nível d'água nos furos de sondagem é apresentada a seguir.

A Figura 5.32 apresenta a variação do nível d'água nos poços de observação S1 ao S5 durante o período de março de 2008 a fevereiro de 2009 com a precipitação quinzenal acumulada no mesmo período. Observa-se que todos os poços apresentaram variação semelhante a partir do mês de dezembro/2008, variando de acordo com a precipitação.

O poço de observação S1 foi o que apresentou menor variação do nível d'água, principalmente até o mês de novembro/2008. Nota-se que quando ocorre precipitação, a água

que infiltra no solo não é armazenada por longos períodos. Isto provavelmente deve-se ao fato de grande quantidade de areia ao longo do perfil do solo, que faz com que a água da chuva não seja retida pelo solo.

O poço S2 está localizado dentro de uma mata-de-galeria e o poço S3 está localizado próximo a um curso d'água. Observa-se que o nível d'água dos poços de observação S2 e S3 variam praticamente na mesma proporção. À medida que a precipitação diminui, o nível d'água tende a diminuir concomitantemente.

O poço de observação S4 tem resposta muito rápida em função da precipitação. Nota-se nos meses iniciais (época chuvosa) o nível d'água varia aproximando da superfície do terreno. A medida que a precipitação cessa (mês de maio) o nível d'água chega ao nível zero no mês subsequente, permanecendo seco até o mês de novembro onde ocorrem as primeiras chuvas. Deve-se salientar que, apesar do poço S4 estar localizado a aproximadamente 15m de um curso d'água, o mesmo não retém a água por longos períodos, isso está diretamente associado à textura muito arenosa do solo na região do poço.

O poço de observação S5 apresenta um baixo nível d'água no início do mês de março provavelmente pelo baixo índice pluviométrico registrado no final do mês anterior. O nível d'água apresenta pouca variação durante o período de março até outubro, aumentando gradativamente em função da precipitação.

Os poços S1, S4 e S5 estão localizados em áreas com forte presença da vegetação mais baixa (capim, ervas, gramíneas). No período seco o nível d'água diminui fazendo com essas vegetações sequem. Em visitas realizadas a campo, observou-se que a vegetação próximo ao poço S3 tende a secar menos do que outros poços, no período seco. Isso deve-se ao fato do nível d'água desse poço nunca ser inferior a profundidade de 2m, fazendo com que haja maior disponibilidade hídrica para a vegetação.

Os anexos C, D e E apresenta os gráficos da variação do nível d'água dos poços de observação P1 ao P21 durante o período de julho/2007 a fevereiro/2009. O anexo F mostra a precipitação quinzenal acumulada no período de março de 2008 a fevereiro de 2009.

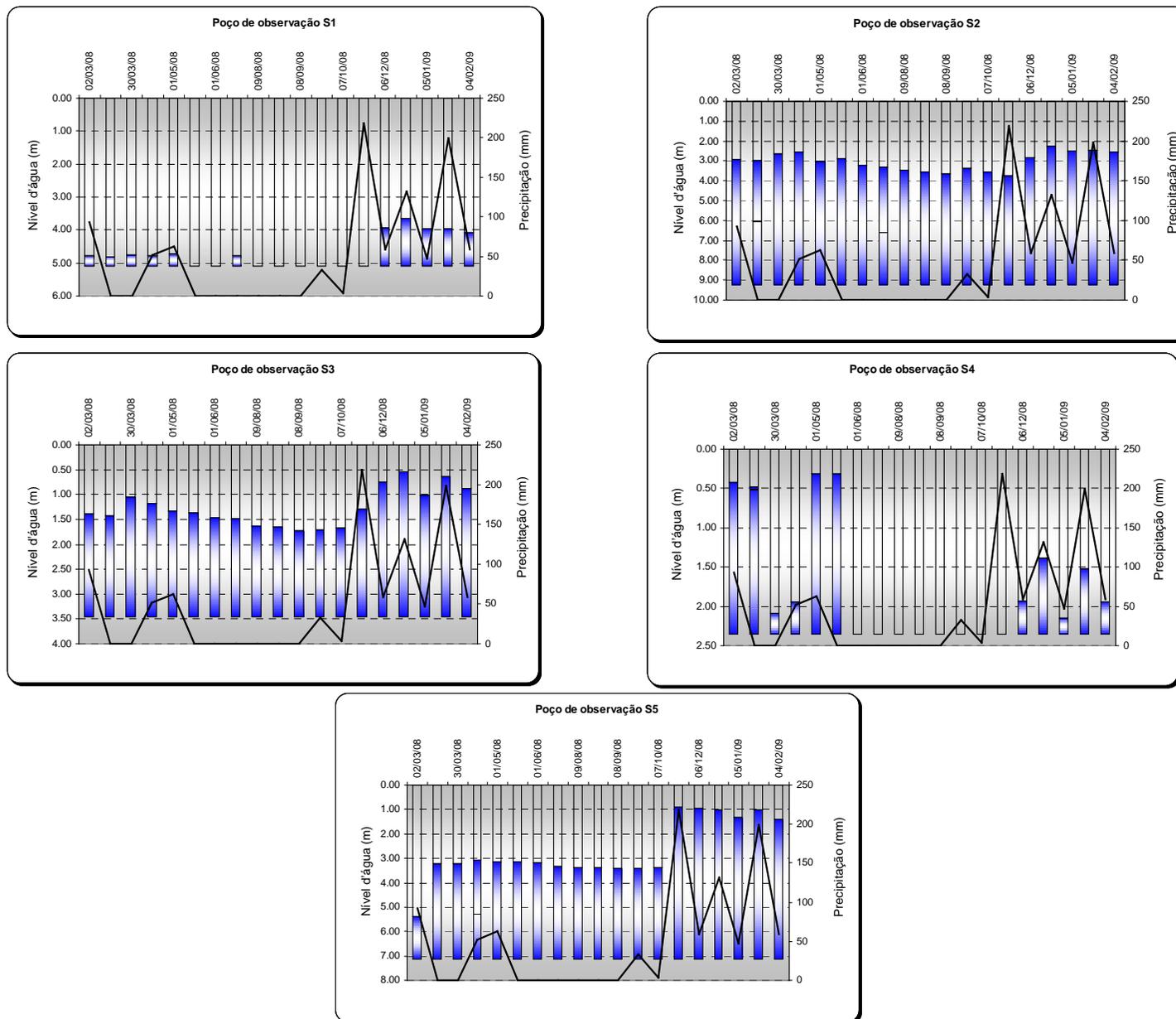


Figura 5.32: Variação do nível d' água dos poços de observação S1 ao S5.

6. CONCLUSÕES

Com base nas etapas de instrumentação realizadas até o momento e nos resultados das análises de solo efetuadas, pode-se concluir que:

- O levantamento topográfico da área de estudo a partir de equipamentos precisos permitiu caracterizar fisicamente a micro-bacia.
- De acordo com os resultados obtidos através da análise dos solos pode-se concluir que os solos da região de estudo, típica de cerrado, são predominantemente argilosos, de consistência média a rija, com eventuais camadas de solos argilosos moles intercaladas. Apesar de ter sido estudada uma bacia de micro-escala, observa-se que há uma grande variedade entre os perfis analisados, indicando, possivelmente, diferentes características de intemperismo/decomposição atuando nesses solos. Adicionalmente, as camadas de consistência média a rija, na superfície, favorecem o escoamento superficial da água, em detrimento da infiltração;
- A validação dos dados da estação portátil HOBO através da comparação com os dados das estações próximas (São João, INMET) e da estação da Campbell, na própria microbacia) mostrou que os dados obtidos pela estação HOBO podem ser considerados satisfatórios. Observou-se também que os dados obtidos na estação Campbell são coerentes com os dados obtidos pela estação Hobo, apresentando maiores variações apenas nos dados pluviométricos em virtude provavelmente do relevo, da altitude e da vegetação;
- A análise dos dados meteorológicos permitiu compreender como se comportam as variáveis climáticas na região. O clima na região apresenta uma sazonalidade típica de região de cerrado, com ocorrência de estações secas e chuvosas bem definidas. O período seco ocorre geralmente de maio a setembro e, o período chuvoso, de outubro a abril. As maiores temperaturas ocorrem no período seco, em decorrência da maior radiação solar. Durante o período tipicamente chuvoso o menor e o maior índice pluviométrico registrado foi de 51,8 e 311,7mm, respectivamente, e durante o período

tipicamente seco o maior índice pluviométrico registrado foi 34,0mm. A temperatura do ar variou de aproximadamente 23 a 28°C.

- Quanto à umidade do solo observou-se que a mesma variou ao longo da camada superficial de 80 cm em função da precipitação. No entanto, o comportamento característico de perda de umidade a 20cm de profundidade, independentemente do evento meteorológico considerado, pode ser um indício da concentração de raízes nessa profundidade;
- A abertura de poços para monitoramento do nível d'água na micro-bacia e a realização das sondagens a percussão permitiu esboçar algumas análises quanto à variação do lençol freático e também com relação à profundidade do manto rochoso (impenetrável). Por terem sido escavados com trado manual, os furos dos poços foram interrompidos quando não se conseguia mais obter a penetração do trado. Em geral, a profundidade de instalação esteve entre 1,5m e 3,5m de profundidade, levando a concluir que uma camada rochosa mais resistente estaria situada nessa profundidade. No entanto, as sondagens à percussão localizadas nas proximidades de alguns desses poços, atingiram o impenetrável à cerca de 7,0m de profundidade (para a altitude de aproximadamente 640m) e a cerca de 5,0m (para a altitude de aproximadamente 630m). Isso leva a concluir, conforme apontado pelas sondagens, que, a região apresenta presença marcante de camadas de argila rija, antes de atingir o manto rochoso;
- Com relação à variação do lençol freático, verificou-se que a profundidade do lençol freático esteve entre aproximadamente 3,5m no período seco e 1,0m no período chuvoso. Para o período chuvoso de 2007/2008 a elevação foi menos sensível e intermitente, ao passo que no período chuvoso de 2008/2009, a elevação do nível d'água foi maior e contínua. Alguns dos poços mostraram-se permanentemente secos e outros permanentemente alagados. No entanto, a maioria deles apresentou alternância entre seco e alagado, em função da menor ou maior ocorrência de precipitação. Em geral, os poços de observação apresentam boa concordância entre si e também com relação ao nível d'água medido nos furos de sondagem. Exceção é feita à sondagem S1, a qual acusou nível d'água muito mais profundo, tanto no período seco quanto no período chuvoso, em comparação com as profundidades medidas pelos

poços localizados nas proximidades. Portanto, a utilização de poços de observação e análise do solo, mostrou bastante viável no monitoramento do lençol freático da micro-bacia de estudo.

7. RECOMENDAÇÕES

- Sugere-se um levantamento batimétrico dos cursos d'água, a fim de identificar o leito natural dos corpos d'água. Sugere-se também, um mapeamento mais detalhado da geologia (profundidade do manto rochoso), da hidrogeologia (fluxo de água subterrânea) e da vegetação (espécies existentes, profundidade de raízes, taxa de transpiração, etc); com o intuito de identificar, juntamente com os dados climáticos, as possíveis causas da predominância da fisionomia campo-cerrado, nessa micro-bacia;
- Recomenda-se um maior período de dados meteorológicos para uma análise da variabilidade temporal desses dados. A geração de um programa para o tratamento e gerenciamento dos dados é imprescindível para o armazenamento e organização dos dados coletados nas estações meteorológicas;
- Recomenda-se a instalação de mais poços de observação ao longo de transectos predefinidos a partir da topografia, com o intuito de intensificar as informações da variação do nível d'água na micro-bacia;
- Recomenda-se a implantação da rede de monitoramento dos recursos hídricos da bacia, em especial o estabelecimento de postos fluviométricos e a simulação hidrológica da bacia por meio de modelos computacionais, a fim de melhor compreender o funcionamento hidrológico dessa bacia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7181: Solo – Análise granulometria – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 13.133: Execução de levantamento topográfico.** Rio de Janeiro, 1994. 35 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6484: Solos - Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT - Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2001. 17 p.

AUBERTIN, G.M.; PATRIC, J.H. **Water quality after clearcutting a small watershed in West Virginia.** Journal of Environmental Quality, v.3, n.3, p. 243-249, 1974.

BLAKE, G. J. **The interception process.** In: Prediction in catchment hydrology. Australian Academy of Science. 1975.

BRADY, Nyle C. **Natureza e propriedades dos solos.** “The nature and properties of soils”. Trad. Antônio B. Neiva Figueredo. 7ªed. Rio de Janeiro: Ed. Livraria Freitas Bastos, 1989. 878p.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL.** Folha SC. 22 Tocantins. Geologia, Geomorfologia e Vegetação. Rio de Janeiro: DNPM, 1981. 520 p.

BRUINJNZEEL, L. A. **Predicting the hydrological impacts of landcover transformation inthe humidtropics: the need for integrated research.** In: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L. (editors) Amazonian deforestation and climate. Wiley. 1996.

BRUNO, R. D.; da Rocha, H. R. ; FREITAS, H. ; GOULDEN, M. ; MILLER, S. . **Soil moisture dynamics in an eastern amazonian tropical forest.** Hydrological Processes, v. 20, p. 2477-2489, 2006.

CAICEDO, N. L. **“Água Subterrânea”**, in: TUCCI, Carlos Eduardo (coord). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2004. 943 p.

CAMPBELL Scientific, Inc. CS-616 and CS-625 **Water Content Reflectometers**. Instructions Manual. Logan: Utah, 2002-2006.

COELHO, E. F.; Or,D. **Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.39, p.2007-2016, 1996.

COELHO, F. S. A. **Desenvolvimento de um modelo chuva-deflúvio, para pequenas bacias rurais, a partir dos modelos do hidrograma unitário instantâneo geomorfológico e do TOPMODEL**. (Tese de doutorado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003. 191p.

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. and KAISER, D. R. **Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. Pesq. agropec. bras.** [online]. 2006, vol.41, n.11, pp. 1663-1674. ISSN 0100-204X.

CORREA, A. M. **Estudos sobre o bioma cerrado**. UNICAMP: 2004. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?down=vtls000288026>. Acesso em: 07/03/2009.

DARCY, H. **Les fontaines publique de la Ville de Dijon**. Paris, Victor Dalmont, p. 592, 1856.

DEVESA, P. **A urbanização e água da chuva**. Disponível em: http://www.sguarani.org/microsite/imgs/pic_big/es/x-Figura1.jpg. Acesso em: 25/05/2009.

DUNNE, T. BLACK, R.D. **Partial- area contributions to storm runoff in a small New England watershed**. Water Resources Research 6: 1269-1296.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 370p.

EITEN, G. **The Cerrado Vegetation of Brazil**. Botanical Review, Vol. 38 N. 2; pp. 201-341. 1972.

ENTIN, J. K.; ROBOCK, A.; VINNIKOV, K. Y.; HOLLINGER, S. E.; LIU, S.; NAMKHAI, A. **Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics**. Journal of Geophysical Research, v. 105, n. D9, p. 11865-11877, May, 2000.

FILHO, G. M. M.; COELHO, T. C.; NORONHA, L; FERNANDES, H. S; SILVA, L. G. DA; BORMA, L. De S. **Estudo comparativo de estações meteorológicas no município de Palmas – TO**. IV Seminário de iniciação científica – UFT, Palmas-TO: 2008.

FREDLUND, D.G.; RAHARDJO, H. **Soil Mechanics for Unsaturated Soils**. John Wiley and Sons, Inc. New York: 1993.

FREITAS, H; da Rocha, H. R. **Variabilidade sazonal do efluxo de CO₂ do solo sobre floresta tropical úmida e pastagem em Rondônia**. In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000, Rio de Janeiro, RJ, p. 2378-2. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000. p. 2378-2387.

GARMIN. **Etrex**. Disponível em: <http://www.garmin.com/products/etrex/>. Acesso em: 10/02/2009.

GUERRA, H.O.C. **Física dos solos**. 1 ed. Campina Grande, PB: UFPB, 2000. 173p.

HARIDASAN, M. **Nutrient cycling as a function of landscape and biotic characteristics in the cerrados of central Brazil**. In the Biogeochemistry of the Amazon Basin, McClain ME, Victoria RL, Richey JE (eds). Oxford University Press: New York; 68-83. 2001.

HEWLETT, J.D. **Principles of forest hydrology**. Athens, University of Geórgia:1982.

HILLEL, D. **Soil and Water: Physical Principles and Processes**. Academic Press, New York: 1971.

HODNETT, M. G.; OYAMA, M. D.; TOMASELLA, J. MARQUES FILHO, O. **Comparisons of long term water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazônia.** In: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L. (editors) Amazonian deforestation and climate. Wiley. 1996.

HORTON, R. **Erosional development of streams and their drainage basins: hidrophysical approach to quatitative morphology.** New York: Geological Society of American Bulletin, 1945. v.56. p. 807-813.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil.** Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 04/02/2009.

IPNI (International Plant Nutrition Institute). **Como fazer a coleta de solo.** Disponível em: <http://www.potafos.org/ppiweb/diagnutricional.nsf/ColetaSolo?OpenPage>. Acesso: 28/02/2009.

LANNA, A. E. L. **Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos.** Brasília: IBAMA, 1995.

LEICA. **Leica Geosystems.** Disponível em: http://www.leica-geosystems.com/uk/en/lgs_18994.htm.. Acesso em: 10/02/2009.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 178p.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A. SOUZA, E.S; LIRA, C. A. B. O. **Balanco hídrico no solo cultivo com feijão caupi.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.1, p.89-95, 2006.

LINHARES, C. Linhares, C. A. **Influência do desflorestamento na dinâmica da resposta hidrológica na Bacia do Rio Ji-Paraná/RO.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (INPE), 2005.

MARAGON, M. **Geotecnia de Fundações**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Faculdade de Engenharia – NuGeo/Núcleo de Geotecnia. Disponível em: http://www.nugeo.ufjf.br/notas_aula/GF12%20Ocorrencia%20de%20agua%20subterrenea%202008.PDF .Acesso em: 27/02/2009.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell soil color charts**. New Windsor, NY: GretagMacbeth, 2000.

NASCIMENTO, M.C.; SOARES, V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S.; SILVA, E. **Delimitação automática de Áreas de Preservação Permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Alegre**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais...Goiânia: INPE, p. 2289-2296. 2005.

NATURATINS. Instituto Natureza do Tocantins. **Base de dados – Sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande**. Palmas-TO. 2002.

NEILL, C.; ELSENBEER, H.; KRUSCHE, A. V.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ; FIGUEIREDO, R.de O. **Hydrological and Biogeochemical Processes in a Changing Amazon: Results from small watershed studies and the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment**. Hydrological Processes. 20(12): 2467-2477m. 2006.

OLIVEIRA, P. S. MARQUES, R. J. **The Cerrados of Brazil**. Columbia University Press: New York: 398. 2002.

PERRENS, S.J. **Numerical analysis of soil water uniformity under sprinkler irrigation**. J. Agric. Eng. Res., London, v.30, p.23-27, 1984.

PINTO, N. L. S. **Hidrologia básica**. 6 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 278p.

RABELO, R.M.; VAZ, C. M .P.; NETO, A. T. **Sensor capacitivo para sondagem da umidade no perfil de solo**. Comunicado técnico. ISSN 1517-4786. Novembro, 2005. São Carlos, SP.

RANZANI, G. **Solos e aptidão agrícola das terras do município de Palmas – Tocantins**. Palmas: UNITINS, 2002. 85p.

REICHARDT, K. TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Baueri, SP: Manole, 2004.

RENNÓ, C.D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto, INPE. São José dos Campos-SP: 2003.

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 840p.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S; TOMASELLA, J. **Climatologia da umidade do solo no Brasil**. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002.

SANEATINS. **Relatório do Monitoramento de Vazão do Ribeirão Taquarussu Grande**. Palmas-TO: 2006.

SANEATINS. **Diagnóstico Sócio-econômico e ambiental da Sub-bacia do Ribeirão Taquarussu Grande**. Palmas-TO. 2007.

SANTOS, L.F. **Cartografia Geotécnica Regional do Município de Palmas/ TO: área a oeste do meridiano 48 W**. 2000. 159 p. Dissertação (Mestrado Geotecnia Ambiental) - Universidade de Brasília (UNB), Brasília.

SANTOS, S. M. **Investigações da Água Subterrânea**. Disponível em: www.uefs.br/dtec/Agua_subterranea-1.pdf. Acessado em: 27/02/2009.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2000. 189p.

SELKER, J.R.; GRAFF, L.; STEENHUIS, T. **Noninvasive time domain reflectometry moisture measurement probe**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.57, p.934-936, 1993.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. **Balço Hídrico Climatológico no Brasil**. [CD-ROM]. Esalq/USP - Piracicaba, 1999.

SILVEIRA, A. L. L. **“Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica”**, in: TUCCI, Carlos Eduardo (coord). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2004. 943 p.

SILVEIRA, A. L.; LOUZADA, J. A; BELTRAME, L. F. **“Infiltração e Armazenamento no Solo”**, in: TUCCI, Carlos Eduardo (coord). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2004. 943 p.

SOKKIA. **GRS 2600**. Disponível em: <http://www.sokkia.com/>. Acesso em: 10/02/2009.

SOUZA, E. G. **Métodos Morfométricos, Subsídios ao Planejamento Ambiental do Ribeirão Taquaruçu Grande em Palmas – TO** (trabalho de graduação). Porto Nacional: UNITINS. 1998.

SOUZA, C. F; MATSURA, E. E. **Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.6 n°.1. Campina Grande-PB. Jan./Apr. 2002.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Halen: Transactions: American Geophysical Union, 1957. v.38. p. 913-920.

TOCANTINS. **ATLAS DO TOCANTINS: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial**. Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente - SEPLAN, Diretoria de Zoneamento Ecológico- Econômico – DZEE. 3º ed. rev. atu. Palmas: SEPLAN, 2003.

TOCANTINS. Secretaria do Meio Ambiente e Planejamento do Tocantins. **Plano das bacias Hidrográficas do Entorno de Palmas – TO**. Palmas: SEPLAN-DMA, 2004.

TORRES, P.S.; GONZALES, R. **Determination of the humidity in representative soils of the western savannas using neutrons probes**. In: Congreso Venezolano Sobre la Ciencia del Suelo, Caracas, Venezuela. Programa y resúmenes de trabajos.1993. p.75-76.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 2004. 943 p.

UNB. Universidade de Brasília. **Glossário Geológico Ilustrado**. Disponível em: <http://www.unb.br/ig/glossario/>. Acessado em: 01/03/2009.

UNITINS. **Plano de Manejo da sub-bacia do Ribeirão Taquaruçu Grande – TO (S.O.S Taquaruçu) – Relatório Técnico Final**. Palmas: UNITINS. 1999.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de Nascentes: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 210p.

VELLOSO, D.A.; LOPES, F. R. **Fundações**. V.1. 2 ed. Rio de Janeiro: COPPE –UFRJ, 1996. 290 p.

VERTESSY, R.A.; ELSENBEER, H. **Distributed modeling of storm flow generation in an Amazonian rain Forest catchment: effects of model parameterization**. Water Resources Research, v. 35, p. 2173-2187, 1999.

WERGE, Mário. **Termos Hidrogeológicos Básicos**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>. Acessado em: 14/12/2008.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. **Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts**. J. Hydrology. 145:217-230, 1993.

ANEXOS

Anexo A: Teor de umidade média do solo durante os 5 eventos analisados.

Evento 1

Dia	Teor de Umidade Média do Solo (%)				
	P: 0.05m	P: 0.10m	P: 0.20m	P: 0.4m	P: 0.7m
14/11/2008	6.00	8.84	10.31	22.50	16.85
15/11/2008	6.31	14.40	13.12	23.43	17.69
16/11/2008	10.34	20.07	14.94	23.45	17.78
17/11/2008	12.17	19.10	13.53	22.03	16.22
18/11/2008	12.81	18.50	12.75	21.59	16.87
19/11/2008	13.22	18.19	12.44	21.08	15.89

Evento 2

Dia	Teor de Umidade Média do Solo (%)				
	P: 0.05m	P: 0.10m	P: 0.20m	P: 0.4m	P: 0.7m
22/11/2008	23.94	25.92	17.93	26.14	20.91
23/11/2008	27.05	26.06	17.05	25.14	20.06
24/11/2008	25.98	24.47	15.36	23.56	18.03
25/11/2008	25.30	23.65	14.85	23.30	19.26
26/11/2008	24.93	23.51	15.52	24.36	19.75

Evento 3

Dia	Teor de Umidade Média do Solo (%)				
	P: 0.05m	P: 0.10m	P: 0.20m	P: 0.4m	P: 0.7m
27/11/2008	25.28	24.00	15.89	24.46	19.26
28/11/2008	25.12	23.52	15.04	23.69	18.47
29/11/2008	27.65	27.68	19.58	27.49	22.76
30/11/2008	27.45	26.66	18.82	27.26	23.05

Evento 4

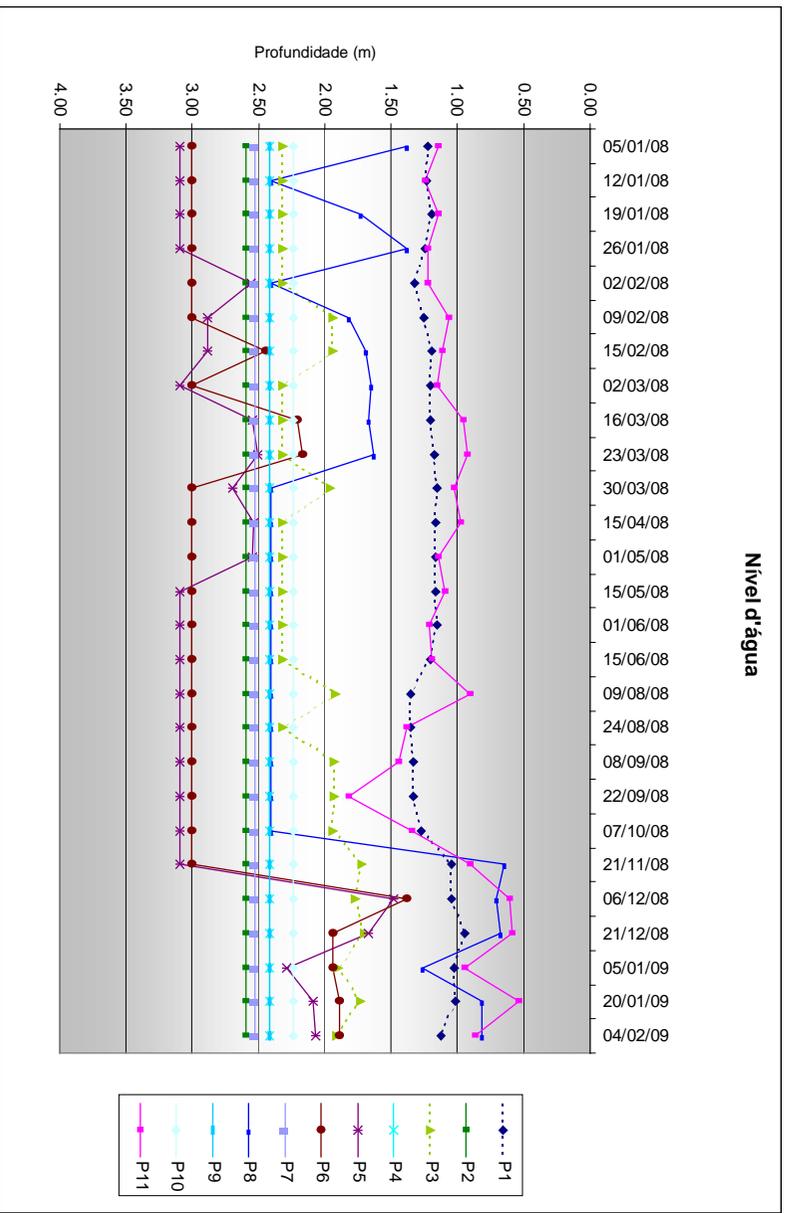
Dia	Teor de Umidade Média do Solo (%)				
	P: 0.05m	P: 0.10m	P: 0.20m	P: 0.4m	P: 0.7m
5/12/2008	26.99	25.70	16.91	25.13	20.00
6/12/2008	27.05	27.06	20.23	28.61	24.46
7/12/2008	26.64	25.23	16.27	24.47	19.18
8/12/2008	25.78	24.06	14.96	23.00	17.48
9/12/2008	25.12	23.21	14.10	21.90	16.15
10/12/2008	24.77	23.34	15.01	24.62	20.71
11/12/2008	24.80	23.52	16.36	26.14	21.73
12/12/2008	24.98	23.43	14.92	23.50	18.30
13/12/2008	24.64	22.89	14.12	22.47	17.04

Evento 5

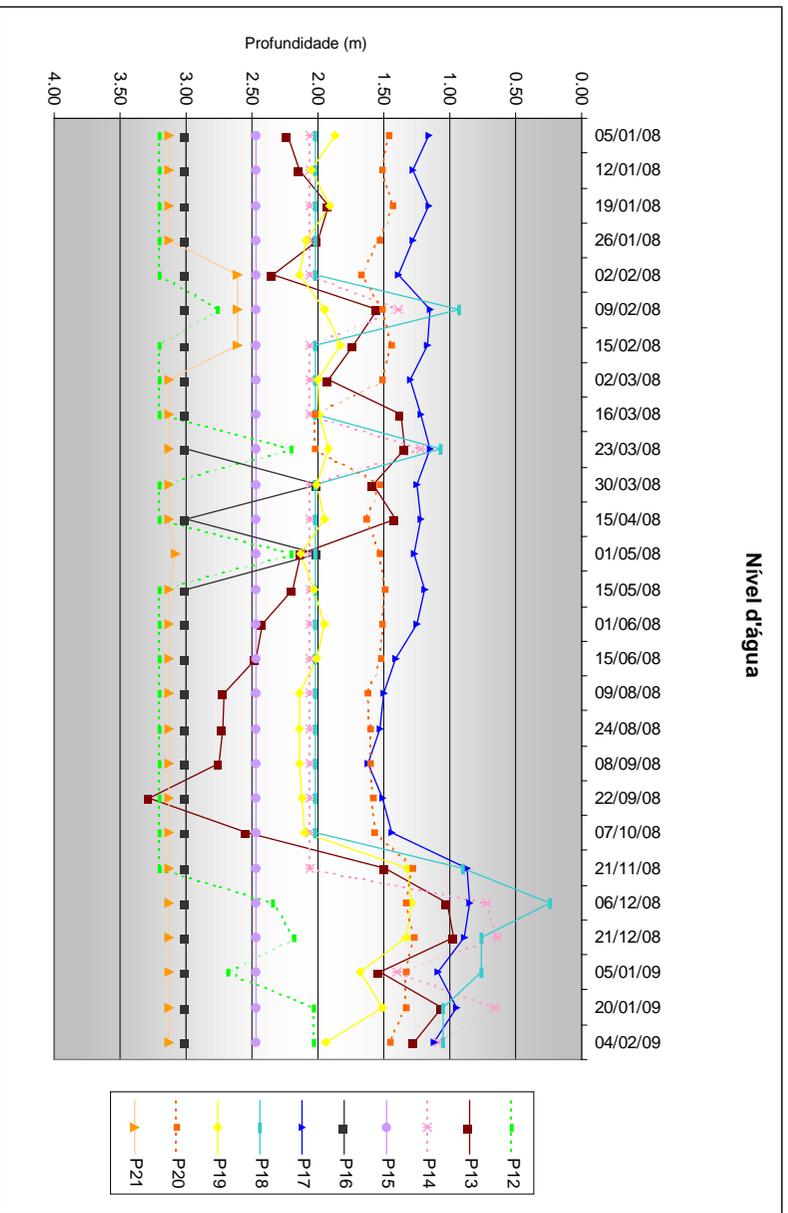
Dia	Teor de Umidade Média do Solo (%)				
	P: 0.05m	P: 0.10m	P: 0.20m	P: 0.4m	P: 0.7m
11/1/2009	23.26	21.48	12.89	20.67	13.91
12/1/2009	22.76	20.92	12.32	19.68	12.67
13/1/2009	22.24	20.36	11.80	18.78	11.55
14/1/2009	21.69	19.79	11.26	17.84	10.45
15/1/2009	21.27	19.81	12.34	22.36	18.80
16/1/2009	21.82	23.03	17.67	27.19	21.31
17/1/2009	24.49	25.73	18.45	27.09	20.92
18/1/2009	27.22	26.84	18.47	27.75	22.00
19/1/2009	27.14	26.29	17.67	26.48	20.30

*P: Profundidade

Anexo D: Variação do nível d'água dos poços de observação P1 ao P11 (Ano 2008/2009).



Anexo E: Variação do nível d'água dos poços de observação P12 ao P21 (Ano 2008/2009).



Anexo F: Precipitação quinzenal acumulada (março de 2008 a fevereiro de 2009).

