

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO SOLO-ATMOSFERA NO
COMPORTAMENTO HIDROMECÂNICO DE SOLOS TROPICAIS
NÃO SATURADOS: ESTUDO DE CASO – MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-
GO**

GISLAINE CRISTINA LUIZ

ORIENTADOR: LUIS FERNANDO MARTINS RIBEIRO

COORIENTADOR: JOSÉ CAMAPUM DE CARVALHO

TESE DE DOUTORADO EM GEOTECNIA

PUBLICAÇÃO: G.TD – 075/2012

BRASÍLIA / DF: MAIO/2012

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO SOLO-ATMOSFERA NO
COMPORTAMENTO HIDROMECÂNICO DE SOLOS TROPICAIS
NÃO SATURADOS: ESTUDO DE CASO – MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-
GO

GISLAINE CRISTINA LUIZ

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA.

APROVADA POR:

LUIZ FERNANDO MARTINS RIBEIRO, DSc (UnB)
(ORIENTADOR)

JOSÉ CAMPAMUM DE CARVALHO, PhD (UnB)
(COORIENTADOR)

ANDRÉ LUIS BRASIL CAVALCANTE DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)

GILSON FARIAS GITIRANA JÚNIOR, DSc (UFG)
(EXAMINADOR EXTERNO)

MARIA LEONOR RIBEIRO CASIMIRO LOPES ASSAD, DSc (UFSCAR)
(EXAMINADORA EXTERNA)

BRASÍLIA/DF, 02 DE MAIO DE 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

LUIZ, GISLAINE CRISTINA.

Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados: estudo de caso – Município de Goiânia-GO.

xxvi, 246 p, 210 mm x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Geotecnia, 2012)

Tese de Doutorado - Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

1. Interface solo-atmosfera

2. Relação solo, relevo e clima

3. Solo tropical não saturado

4. Comportamento hidromecânico do solo

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LUIZ, G.C. (2012). Influência da Relação Solo-Atmosfera no Comportamento Hidromecânico de Solos Tropicais Não Saturados: Estudo de Caso – Município de Goiânia. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-075/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 246 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gislaine Cristina Luiz

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Influência da relação solo-atmosfera no comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados: estudo de caso – Município de Goiânia-GO.

GRAU / ANO: Doutora / 2012

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gislaine Cristina Luiz

Rua T-48, nº 987-Ed.Royal Garden Setor Bueno.

CEP 74210-190 - Goiânia/GO – Brasil.

DEDICATÓRIA

*aos meus pais, José Lino e Glória, pelo exemplo da ética e retidão de
conduta; aos meus irmãos Cleiber, Meire, Claudia e Paula, pelo apoio
incondicional; aos sobrinhos Pedro, Vitória, Bárbara e à pequena Beatriz,
pela leveza no convívio diário!*

“O tempo é aquele orientador incansável

que ensina a cada um de nós,

hoje, amanhã e sempre (...)”

(André Luiz)

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia Ambiental/UnB, pela oportunidade concedida que resultou na ampliação nos meus conhecimentos. À Universidade Federal de Goiás e ao Instituto de Estudos Socioambientais, pela liberação. Ao programa PICDT/CAPES, pelo financiamento por meio da bolsa de doutorado.

Ao professor Luis Fernando Martins, pela amizade, dedicação, confiança, contribuição no conhecimento transmitido e pelo incentivo de sempre. Ao professor José Camapum de Carvalho, sempre presente, pelo apoio irrestrito e pela disponibilidade em contribuir para o êxito desta pesquisa.

À professora Izabel Cristina Campos e aos técnicos do laboratório de Geotecnia da UnB, Vanilson, Ricardo, Thiago, pelo apoio na execução da parte experimental da pesquisa. Em especial a Celso Rodrigues, Elias e João, que, muito além do apoio às atividades de campo, foram verdadeiros parceiros. À professora Rita de Cássia da Silva, colega de trabalho que, no transcurso desta pesquisa, consolida uma amizade. Às novas amigas Rafaela, Eufrosina, Márcia pelo apoio e pela troca de conhecimento durante o desenvolvimento da pesquisa.

Em especial a Patrícia de Araújo Romão, pela confiança de sempre. Aos amigos de antes, Andrelisa de Jesus e Bernardo Cristovão Colombo, que na convivência diária consolidaram o respeito e a admiração. As amigas irmãs Joana, Esther, Lúcia, Vivian e Rivien, pela compreensão silenciosa durante as ausências e pela certeza do apoio incondicional.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela disponibilização dos dados do 10º Distrito de Meteorologia Goiás/Tocantins (10º DISME). Ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil (GECON)/UFG, por viabilizar o acesso ao Laboratório de Solos para realização de ensaios. A Furnas Centrais Elétrica S.A., por permitir a realização de ensaios no Laboratório de Difração de Raios-X do Laboratório de Mecânica das Rochas da Divisão de Solos de FURNAS (LABS.C – DCT.C). À COMDATA, pela disponibilização do programa das informações do Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG).

À Elizabete Alves Ferreira, meteorologista (INMET) chefe do 10º DISME, e ao bacharel em geografia Elder Miranda Barreto, pelas discussões acerca da dinâmica e variabilidade dos atributos do clima em Goiânia.

RESUMO

INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO SOLO-ATMOSFERA NO COMPORTAMENTO HIDROMECÂNICO DE SOLOS TROPICAIS NÃO SATURADOS: ESTUDO DE CASO – MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO

Considerando a estreita relação das propriedades físicas, químico-mineralógicas e estruturais dos solos e a variação da umidade, são relevantes as leis que regem a dinâmica da paisagem. Tal conhecimento permite entender os condicionantes à deflagração e aceleração de processos como os erosivos, de assoreamento e de inundação, associados à dinâmica de infiltração e de escoamento superficial das águas das chuvas. Nesse sentido, as características climáticas constituem importante dinâmica a partir da demanda e oferta de precipitação, da variação da temperatura, da umidade relativa do ar, da direção dos ventos e da radiação solar, associadas à morfometria do terreno. Esta pesquisa apresenta análise das características climáticas regional e local, produção e análise de mapas temáticos relativos ao relevo, uso e cobertura do solo e termografia da superfície do terreno. Apresenta ainda os resultados de um programa experimental em laboratório e *in situ*, incluindo análises físicas, químicas e mineralógicas ao longo dos perfis de solo de até 3 m de profundidade, distribuídos em 11 pontos no Município de Goiânia-GO. A análise do clima indicou tendência para a antecipação do período seco no outono e de seu prolongamento na primavera. A variação no campo termodinâmico das superfícies indicou temperaturas mais elevadas segundo orientação das vertentes e cobertura dos solos. Os solos estudados são ácidos, com baixos teores de alumínio, sugerindo condição de altamente lixiviados. Em relação às propriedades mineralógicas e físicas, os solos apresentaram variações em profundidade mais expressivas para os solos situados sobre rochas granulíticas. As curvas características indicaram solos com estrutura de macroporos e de microporos e diferenças estruturais entre as amostras analisadas. A variação sazonal da umidade dos solos indicou elevado gradiente de sucção no período seco. No período chuvoso, o gradiente de sucção não foi tão elevado e a variação de umidade correspondeu ao domínio dos macroporos, exceto para o final desse período. Os solos sobre rochas granulíticas indicaram maior variação da infiltração ao longo das profundidades e, em 0,1 m de profundidade, as menores taxas de infiltração. Em agosto-setembro/2010, em 0,5 e 1 m de profundidade, observou-se os menores valores na taxa de infiltração, o que permite inferir que o papel do ar aprisionado nos poros do solo dificulta o processo de infiltração. Ao serem observadas as condições presentes nos solos dos perfis analisados e o clima atuante em Goiânia, destaca-se a necessidade do conhecimento das propriedades físico, química e mineralógica e a variação sazonal da umidade no comportamento do solo, considerando a interface solo-atmosfera.

ABSTRACT

INFLUENCE OF RELATIONSHIP IN SOLO-ATMOSPHERE BEHAVIOR OF SOIL HYDROMECHANICAL TROPICAL UNSATURATED : CASE STUDY - GOIÂNIA-GO.

Considering the close relationship of the physical properties, chemical, mineralogical and structural and soil moisture variation, it is important to consider the laws that govern the dynamics of landscape. This knowledge allows us to understand the origin and acceleration of processes, such as erosion, flooding and sedimentation, associated dynamics of infiltration and stormwater runoff. In this sense, climate characteristics are important dynamics of supply and demand of rainfall, variation of temperature, relative humidity, wind direction and solar radiation, associated with morphometric parameters of the terrain morphology. This research presents analysis of regional and local climate characteristics, production and analysis of thematic maps of morphology, soil cover and surface thermography. It also presents the experimental program carried out in the laboratory and in situ, chemical and mineralogical analysis along the soil profiles up to 3 m deep, more than 11 points in Goiânia-GO. The climate analysis indicated a trend for anticipating the dry season in the fall and extension spring. The variation in the field of thermodynamic surfaces indicated higher temperatures second orientation of slopes and land cover. The soils are acidic, with low levels of aluminum, suggesting highly leached condition. Regarding the physical and mineralogical properties, the soils had more expressive variations in depth for soils located on granulitic rocks. The characteristic curves indicated soil structure with macropores and micropores and structural differences between the samples. The seasonal variation of soil moisture showed high suction gradient in dry season. In the rainy season, the gradient was not as high suction and moisture variation corresponded to the area of macropores, except for the end of that period. The soils on granulitic rocks showed greater variation of infiltration along the depth and 0.1 m depth, the lowest rates of infiltration. In agosto-setembro/2010 0.5 and 1 m was observed at lower infiltration rate values, which we infer that the role of the air trapped in the pores hinders the process of infiltration of the soil. By being subject to the conditions present in the soils and climate of the profiles analyzed active in Goiania, highlights the need for knowledge of the physical, chemical and mineralogical and seasonal variation of moisture in the soil behavior, considering the soil-atmosphere interaction.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVOS	3
1.2 – LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	4
1.3 – ESCOPO DA TESE	5
2 - REVISÃO BLIOGRÁFICA	6
2.1 – ESCALAS DE ANÁLISE DO CLIMA	6
2.1.1 – DINÂMICA CLIMÁTICA DE GOIÂNIA	9
2.1.2 – MICROCLIMA	15
2.2 – PROPRIEDADES DOS SOLOS TROPICAIS NÃO SATURADOS E INTERFACE SOLO-CLIMA	20
2.3 – SOLO, CLIMA E RELEVO	28
2.3.1 - CLIMA, PROCESSOS ATUANTES E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO	29
2.3.2 – RELAÇÃO ENTRE A MORFOLOGIA DA SUPERFÍCIE E AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO	31
3 – TÉCNICAS, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.1 – DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA	33
3.2 – VARIAÇÃO TEMPORAL, POSSÍVEIS TENDÊNCIAS DOS ATRIBUTOS ATMOSFÉRICOS E DINÂMICA TÉRMICA DE SUPERFÍCIES DO TERRENO NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO	34
3.2.1 – VARIAÇÕES INTERANUAL E POSSÍVEIS TENDÊNCIAS DOS ATRIBUTOS ATMOSFÉRICOS: PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR	35
3.2.2 – VARIAÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA DINÂMICA TÉRMICA DE SUPERFÍCIES DO TERRENO EM GOIÂNIA-GO: INVERNO/2010	40
3.3 – CAMPANHAS DE CAMPO	41
3.3.1 – DEFINIÇÃO DOS PONTOS	41
3.3.2 – COLETA DE AMOSTRAS	44
3.3.2.1 – ENSAIOS <i>IN SITU</i>	46
3.3.2.2 – ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO	48
3.3.2.3 – DETERMINAÇÃO DO PESO NATURAL DO SOLO (γ_n): MÉTODO FRASCO DE AREIA	54
3.3.2.4 – ESTIMATIVA DO PESO NATURAL DO SOLO (γ_n): MÉTODO NÃO CONVENCIONAL	55
3.3.3 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-MINERALÓGICA E ENSAIOS DE LABORATÓRIO	55
3.3.3.1 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL DE SOLO	55
3.3.3.2 – CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO PERFIL DE SOLO POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)	56
3.3.4 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO PERFIL DE SOLO	58
3.3.4.1 – DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE	58
3.3.4.2 – DETERMINAÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA	59
3.3.4.3 – DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA (W_L , W_P)	59

3.3.4.4 - CLASSIFICAÇÃO DO PERFIL DE SOLO SEGUNDO A METODOLOGIA MCT DOS SOLOS	61
3.3.4.5 DETERMINAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO (γ_n)	63
3.3.4.6 – DETERMINAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS (γ_s)	64
3.3.4.7 – DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA: MÉTODO DO PAPEL-FILTRO	65
4 – CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE GOIÂNIA E DOS POÇOS ESTUDADOS: DA ESCALA REGIONAL DO CLIMA À DO MICROCLIMA	67
4.1 – VARIAÇÃO TEMPORAL DA PLUVIOMETRIA EM GOIÂNIA-GO: ESCALA ANUAL, SAZONAL, MENSAL E DIÁRIA DE 1961 A 2008	67
4.1.1 - ANÁLISE TEMPORAL DA TENDÊNCIA DA PLUVIOMETRIA ACUMULADA: ESCALA INTERANUAL, SAZONAL E DIÁRIA	71
4.1.2 – DETERMINAÇÃO DOS ANOS-PADRÃO	75
4.1.3 – VARIAÇÃO TEMPORAL DA SÉRIE TEMPERATURA MÉDIA DO AR (°C): INTERANUAL E SAZONAL EM GOIÂNIA-GO NO PERÍODO DE 1961 A 2008	79
4.1.3.1 – ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR (°C) EM GOIÂNIA-GO NO PERÍODO DE 1961 A 2008	80
4.1.4 – ANÁLISE DA VARIAÇÃO E DA TENDÊNCIA DA SÉRIE UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR (U.R.%): INTERANUAL E SAZONAL EM GOIÂNIA-GO, NO PERÍODO DE 1961 A 2008	84
4.2 – DINÂMICA TÉRMICA DE SUPERFÍCIES NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO E NOS POÇOS ESTUDADOS: INVERNO/2010	87
4.2.1 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO TERRENO NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO: POSSÍVEIS RELAÇÕES COM A ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES E COBERTURA DO SOLO	87
4.2.2 – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA APARENTE DE SUPERFÍCIES DO TERRENO (°C) PARA AS BACIAS E OS POÇOS ESTUDADOS: POSSÍVEIS RELAÇÕES COM A COBERTURA DO SOLO, ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES E TEMPERATURAS DO AR E DA SUPERFÍCIE DO SOLO (°C)	94
5 – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO DE GOIÂNIA, BACIAS E POÇOS ESTUDADOS	99
5.1 – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO DE GOIÂNIA, BACIAS E POÇOS ESTUDADOS	99
5.1.1 – ASPECTOS LITOLÓGICOS	99
5.1.2 – CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	99
5.1.3 – CARACTERÍSTICAS DO RELEVO	102
5.1.4 – CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	105
5.1.5 – VEGETAÇÃO NATURAL, USO E COBERTURA DO SOLO	108
5.2 – CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DAS ÁREAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ONDE SE SITUAM OS POÇOS E DOS POÇOS ESTUDADOS	110
5.2.1 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA ONDE SITUA-SE O POÇO 1	110
5.2.2 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 2	116
5.2.3 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 3	121
5.2.4 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 4	126

5.2.5 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 5	132
5.2.6 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 6	137
5.2.7 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 7	142
5.2.8 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 7.1	147
5.2.9 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 8	153
5.2.10 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 9	158
5.2.11 – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 10	163
6 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS	169
6.1 – ANÁLISE QUÍMICA DO PERFIL DE SOLO	169
6.2 – MINERALOGIA DOS SOLOS DOS PERFIS DOS POÇOS ESTUDADOS	174
6.2.1 – PERFIS LOCALIZADOS NA REGIÃO NORTE DE GOIÂNIA	175
6.2.2 – PERFIS LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE GOIÂNIA	178
6.3 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS DE SOLOS	182
6.3.1 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	182
6.3.2 – ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PERFIS DE SOLOS	190
6.3.3 – LIMITES DE CONSISTÊNCIA E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (SUCS E MÉTODO DA PASTILHA)	195
6.3.4 – ANÁLISE SAZONAL DA UMIDADE DE CAMPO	199
6.3.4.1 – VARIAÇÃO SAZONAL DO GRAU DE SATURAÇÃO	209
6.4 – ENSAIOS <i>IN SITU</i>	210
6.4.1 – OBTENÇÃO DO PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO	210
6.4.1.1 – PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO: MÉTODO DO FRASCO DE AREIA	211
6.4.1.2 – PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO: MÉTODO NÃO CONVENCIONAL	212
6.5 – CURVA CARACTERÍSTICA E INFILTRAÇÃO NOS PERFIS ESTUDADOS	214
6.5.1 – DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA: MÉTODO DO PAPEL FILTRO	214
6.5.2 – ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO	217
7 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	227
7.1 – CONCLUSÕES	227
7.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	232
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	234

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Organização das escalas espacial e temporal do clima (modificado de Mendonça & Danni-Oliveira, 2007)	7
Tabela 2.2 – Principais sistemas atmosféricos atuantes na região de Goiânia e seus efeitos nas características do clima	13
Tabela 2.3 – Tempo de retorno das chuvas intensas em Goiânia-GO (Romão & Souza, 2006)	14
Tabela 2.4 – Variação temporal dos elementos precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e evaporação em Goiânia-GO	15
Tabela 2.5 – Técnicas de medida de sucção (Ubaldo et al., 2006)	25
Tabela 3.1 – Classes dos intervalos dos anos-padrão (Xavier & Xavier, 1999)	38
Tabela 3.2 – Legenda do teste de Mann-Kendall (modificado de Fachine & Galvêncio, 2010)	40
Tabela 3.3 – Pontos selecionados à execução do programa experimental da pesquisa: regiões norte e sul de Goiânia-GO	42
Tabela 3.4 – Características ambientais dos poços	44
Tabela 3.5 – Descrição das atividades executadas em campo	47
Tabela 4.1 – Número de ocorrência dos eventos pluviométricos acumulados em 24 horas para o período de 1961 a 2008 em Goiânia-GO	70
Tabela 4.2 – Parâmetros do teste Mann-Kendall aplicado à série da precipitação interanual e sazonal em Goiânia- GO, no período de 1961 a 2008	73
Tabela 4.3 – Anos-padrão determinados a partir da série da precipitação acumulada em Goiânia-GO, no período de 1961a 2008	76
Tabela 4.4 – Identificação dos anos-padrão e possíveis ocorrências com os fenômenos ENOS, em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008	77
Tabela 4.5 – Parâmetros do teste Sazonal Mann Kendall (SMK) aplicados à série temperatura do ar (°C) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	82
Tabela. 4.6 – Média e variação sazonal dos índices de umidade relativa do ar (%) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	84
Tabela 4.7 – Parâmetros do teste Sazonal Mann Kendall (SMK) aplicados à série umidade relativa do ar para as escalas temporais interanual e sazonal em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	86
Tabela 4.8 – Temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 12/07/2010	89
Tabela 4.9 – Coincidência espacial entre uso e cobertura do solo com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 12/07/2010	89
Tabela 4.10 – Coincidência espacial entre uso e cobertura do solo com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 29/08/2010	92

Tabela 4.11 – Coincidência espacial entre orientação das vertentes com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em- Goiânia-GO, em 12/07/2010	93
Tabela 4.12 – Coincidência espacial entre orientação das vertentes com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 29/08/2010	93
Tabela 4.13 – Coincidência espacial entre cobertura do solo e a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 12/07 e 29/08/2010	96
Tabela 4.14 – Temperatura aparente da superfície do terreno; medidas das temperaturas do ar e da superfície do terreno obtidas <i>in situ</i> em agosto/setembro/2010, em Goiânia-GO	97
Tabela 5.1 – Declividades relativas do Município de Goiânia-GO	106
Tabela 5.2 – Orientação das vertentes relativas do Município de Goiânia-GO	106
Tabela 5.3 – Vegetação, uso e cobertura do solo no Município de Goiânia-GO em 2010	111
Tabela 5.4 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1 no Município Goiânia-GO	113
Tabela 5.5 – Orientação das vertentes da área da bacia onde se encontra inserido o Poço 1 no Município Goiânia-GO	113
Tabela 5.6 – Declividades da área da bacia onde se encontra inserido o Poço 1 na bacia do Poço 1, no Município Goiânia-GO	115
Tabela 5.7 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1 no Município de Goiânia-GO	115
Tabela 5.8 – Comprimentos de fluxo: área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1 no Município de Goiânia-GO	116
Tabela 5.9 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO.....	118
Tabela 5.10 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO	120
Tabela 5.11 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO	120
Tabela 5.12 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO	121
Tabela 5.13 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO	121
Tabela 5.14 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO	123
Tabela 5.15 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO	124
Tabela 5.16 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO	124
Tabela 5.17 – Curvaturas ao longo dos perfis e ao longo das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO	126
Tabela 5.18 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO	126

Tabela 5.19 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4 no Município de Goiânia-GO	128
Tabela 5.20 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4 no Município de Goiânia-GO	129
Tabela 5.21 - Declividades da área da bacia hidrográfica onde encontra-se situado o Poço 4 – município de Goiânia-GO	129
Tabela 5.22 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4 no Município de Goiânia-GO	131
Tabela 5.23 – Comprimentos de fluxo na bacia do Poço 4 no Município de Goiânia-GO ...	131
Tabela 5.24 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO	134
Tabela 5.25 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO	134
Tabela 5.26 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO.....	134
5.27 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO	136
Tabela 5.28 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO	136
Tabela 5.29 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO	140
Tabela 5.30 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO	140
Tabela 5.31 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO	141
Tabela 5.32 – Curvaturas ao longo dos perfis e ao longo das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO	141
Tabela 5.33 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO	142
Tabela 5.34 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO	145
Tabela 5.35 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO	145
Tabela 5.36 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO	146
Tabela 5.37 – Curvaturas ao longo dos perfis e ao longo das curvas de nível na bacia do Poço 7 no Município de Goiânia-GO	146
Tabela 5.38 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO	146
Tabela 5.39 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO.....	149

Tabela 5.40 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO	149
Tabela 5.41 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO	151
Tabela 5.42 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO	151
Tabela 5.43 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO	152
Tabela 5.44 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8 no Município de Goiânia-GO	154
Tabela 5.45 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8 no Município de Goiânia-GO	154
Tabela 5.46 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde	156
Tabela 5.47 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível na bacia do Poço 8 no Município de Goiânia-GO	156
Tabela 5.48 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8 no Município de Goiânia-GO	157
Tabela 5.49 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO	159
Tabela 5.50 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO	161
Tabela 5.51 – Declividades na bacia do Poço 9 no Município de Goiânia-GO	161
Tabela 5.52 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO	162
Tabela 5.53 – Comprimentos de fluxo na área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO	162
Tabela 5.54 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO	164
Tabela 5.55 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO	166
Tabela 5.56 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO	166
Tabela 5.57 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO	167
Tabela 5.58 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO	167
Tabela 6.1 – Minerais presentes nos perfis estudados na região norte em Goiânia-GO	176
Tabela 6.2 – Minerais presentes nos perfis estudados na região sul em Goiânia-GO	179
Tabela 6.3 – Análise granulométrica com e sem defloculante: poços situados na região norte de Goiânia-GO	183

Tabela 6.4 – Análise granulométrica com e sem defloculante dos Poços 4 e 5 na profundidade de 3 m, na região norte de Goiânia-GO	184
Tabela 6.5 – Análise granulométrica com e sem defloculante dos Poços 8, 9 e 10 nas profundidades 1 e 2 m: na região sul de Goiânia-GO	185
Tabela 6.6 – Análise granulométrica com e sem defloculante dos Poços 8, 9 e 10 na profundidade 3 m: na região sul de Goiânia-GO	186
Tabela 6.7 – Análise granulométrica em profundidade com e sem defloculante dos Poços: 3 (região norte) e 7 (região sul) de Goiânia-GO	186
Tabela 6.8 – Teor de agregação (T.A.%) da argila (em profundidade) para os poços estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	189
Tabela 6.9 – Características geotécnicas dos solos dos perfis estudados: poços situados na região norte de Goiânia-GO	191
Tabela 6.10 – Características geotécnicas dos solos dos perfis estudados: poços situados na região sul de Goiânia-GO	192
Tabela 6.11 – Limites de consistência (w_L e w_P), índice de plasticidade (IP) e índice de consistência (IC) dos perfis de solos estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	196
Tabela 6.12 – Classificação MCT expedito (método das pastilhas): perfis de solos estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	198
Tabela 6.13 – Variação sazonal da umidade ($w\%$) para os perfis de solo estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	200
Tabela 6.14 – Posição dos poços <i>versus</i> características morfológicas, cobertura do solo e temperatura aparente da superfície ($^{\circ}C$) nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	204
Tabela 6.15– Valores do peso específico natural (γ_n), peso específico do solo seco (γ_d) e umidade de campo ($w\%$) nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	211
Tabela 6.16 – Valores obtidos do peso específico do solo (γ_n) pelos métodos da balança hidrostática e não convencional e, respectivamente, peso específico do solo seco (γ_d), índice de vazios (e), porosidade (n) e grau de saturação (S_r)	213
Tabela 6.17 – Capacidade de infiltração (mm/h) obtida pelo Infiltrômetro de cilindros concêntricos em agosto-setembro/2010, nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	218
6.18 –Resumo das características morfométricas, morfológicas e cobertura do solo das áreas no entorno dos poços estudados, nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	225

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Localização do Município de Goiânia e dos pontos selecionados para o estudo ...4	4
Figura 2.1 – Principais sistemas atmosféricos atuantes na América do sul (modificado de Monteiro, 2000)	10
Figura 2.2 – Imagem de Satélite: configuração da ZCAS (modificada de Dini, 2004)	12
Figura 2.3 – Direção e frequência dos ventos em Goiânia (modificada de Caseti, 1993)	13
Figura 2.4 – Variação da elevação solar e do ângulo zenital (modificada de Mendonça e Danni-Oliveria, 2007)	16
Figura 2.5 – Relação entre o ângulo de incidência dos raios solares, a espessura da atmosfera atravessada e a superfície aquecida (modificada de Mendonça & Danni-Oliveira, 2007)	17
Figura 2.6 – Elementos do solo não saturado (modificada de Bueno, 1979)	22
Figura 3.1 – Município de Goiânia-GO e a localização das bacias e dos poços estudados	43
Figura 3.2 – Execução do poço: (a) Poço 10 na região sul e (b) Poço 4 na região norte de Goiânia-GO	44
Figura 3.3 - Blocos de amostras indeformadas coletados nos poços: (a) meia cava na base da profundidade 1 m e a moldagem dos blocos – Poço 10 na região sul; (b) bloco posicionado na meia cava e parafinado em 2 m – Poço 3 na região norte; (c) bloco parafinado na profundidade de 3 m – Poço 2 e na região sul de Goiânia-GO	45
Figura 3.4 – Material coletado: (a) Poço 3 profundidade de 2 m; (b) Poço 5 profundidade de 3 m na região norte; (c) Poço 7 profundidade de 2 m na região sul de Goiânia-GO	45
Figura 3.5 - Dimensões da cava representativa do material coletado em perfil de solo: (a) Poço 3; (b) Poço 5 na região norte; (c) Poço 7 na região sul de Goiânia-GO	46
Figura 3.6 – Ensaio de infiltração por rebaixamento: (a) abertura do poço; (b) abastecimento do poço até o nível do terreno; (c) realização do ensaio	49
Figura 3.7 – Modelo do ensaio de rebaixamento em poço (Leão Carvalho, 2008)	51
Figura 3.8 – Modelo do ensaio da taxa de infiltração básica pelo infiltrômetro de cilindros concêntricos (Leão Carvalho, 2008)	52
Figura 3.9 – Ensaio de infiltração com o infiltrômetro cilindro concêntrico: (a) Poço 3 em 0,1 m ; (b) Poço 8, em 0,3 m, respectivamente, nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	53
Figura 3.10 – Sequência de procedimentos à obtenção do peso específico natural <i>in situ</i> : (a) retirada do solo; (b) preenchimento com areia; (c) pesagem do solo retirado – Poço 2 na região norte de Goiânia-GO	54
Figura 3.11 – (a) Umedecimento e espatulação da amostra; (b) amostra na concha do aparelho de Casagrande e abertura de sulco; (c) união das bordas do sulco após execução de golpes no aparelho de Casagrande	60
Figura 3.12 – (a) Movimento em placa de vidro à obtenção de rolinho de 3 mm; (b) fissuras no rolinho de 3 mm; (c) amostra distribuída em capsulas à obtenção da umidade	60

Figura 3.13 – Classificação MCT Expedita (Nogami & Villibor, 1994)	62
Figura 3.14 – (a) Amostra seca e destorroada; (b) amostra sendo espatulada; (c) umidade de consistência teste com o penetrômetro; (d) moldagem do corpo-de-prova em anel; (e) moldagem das bolinhas; (f) corpos-de-prova (pastilhas e bolinhas) para secagem a ar	63
Figura 3.15 – Sequência das fotos: (a) bloco modado e parafinado no campo; (b) moldagem do corpo-de-prova a ser pesado e parafinado; (c) corpo-de-prova imerso na água para obter a massa do corpo-de-prova parafinado imerso	64
Figura 3.16 – (a) Retirada do ar do solo após processo de dispersão das partículas; (b) retirada no ar após repouso em água aquecida; (c) amostra para serem efetuadas as leituras de pesagem e tomada de temperatura da água	65
Figura 3.17 – Ensaio de sucção pela técnica do papel-filtro: (a); (b) e (c) preparação do corpo-de-prova; (d) acondicionamento dos corpos-de-prova; (e) corpo-de-prova após 15 dias; (f) pesagem do papel-filtro	66
Figura 4.1 – Distribuição sazonal da precipitação em Goiânia-GO no período 1961-2008	68
Figura 4.2 – Variação anual das chuvas entre os anos de 1961 e 2008: (a) média mensal (mm) e (b) número médio de dias com pluviometria no mês, em Goiânia-GO	68
Figura 4.3 – (a) Precipitação média <i>versus</i> número de dias e (b) precipitação média mensal / número de dias <i>versus</i> mês do ano a partir de janeiro (1), em Goiânia-GO	69
Figura 4.4 – Precipitação acumulada anual em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.....	72
Figura 4.5 – Precipitação média sazonal: (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	72
Figura 4.6 – Número de dias com ocorrência de episódios pluviométricos no ano, em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	73
Figura 4.7 – Número de eventos no ano com precipitação acima de 40 mm acumulados em 24 horas, em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	74
Figura 4.8 – Número de eventos acima de 40 mm acumulados em 24 horas: (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO	75
Figura 4.9 – Dias consecutivos com e sem episódios pluviométricos: anos representativos de MS, S, N, C e MC em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008	78
Figura 4.10 – Temperatura média máxima, mínima e compensada do ar (°C) em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008	79
Figura 4.11 – (a) Crescimento populacional; (b) relação entre crescimento populacional e temperatura média compensada do ar (°C) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	80
Figura 4.12 – Temperatura média do ar anual (°C): (a) T _{máx.} e (b) T _{mín.} em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008	80
Figura 4.13 – Temperatura média máxima do ar (°C): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	81
Figura 4.14 – Temperatura média mínima do ar (°C): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	82
Figura 4.15 – Umidade relativa média anual do ar (%) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008	85

Figura 4.16 – Umidade relativa média do ar (%): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008	85
Figura 4.17 – Temperatura aparente da superfície (°C) no Município de Goiânia-GO em 12/07/2010	90
Figura 4.18 – Temperatura aparente da superfície (°C) no Município de Goiânia-GO em 29/08/2010	91
Figura 4.19 – Correlações entre as leituras <i>in situ</i> da temperatura da superfície (°C) versus temperatura do ar (°C) em Goiânia-GO, em agosto de 2010	98
Figura 4.20 – Correlações: (a) temperatura da superfície versus temperatura aparente relativa da superfície (°C); (b) temperatura da superfície versus temperatura relativa estimada aparente da superfície (°C), corrigidas a insolação e elevação, em Goiânia-GO, em agosto de 2010 ...	99
Figura 5.1 – Mapa Litológico do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise	102
Figura 5.2 – Mapa Geomorfológico do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise	104
Figura 5.3 – Carta de Declividades do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise	105
Figura 5.4 – Carta de Orientação das Vertentes do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise	107
Figura 5.5 – Mapa de Solos do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise	108
Figura 5.6 – Mapa de uso e cobertura do solo do Município de Goiânia-GO/2010 e localização dos pontos de análise	110
Figura 5.7 – (a) Carta imagem da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 1	112
Figura 5.8 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil (ao longo da linha de maior inclinação); (e) curvaturas planas (ao longo das curvas de nível) e (f) comprimentos de fluxo	114
Figura 5.9 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 1 (em vermelho): (a) direção norte-sul e (b) direção leste-oeste	117
Figura 5.10 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) localização do Poço 2	118
Figura 5.11 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	119
Figura 5.12 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 2: (a) direção sul-nordeste e (b) direção noroeste-sudeste	122
Figura 5.13 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 3	123
Figura 5.14 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do	

perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimento de fluxo	125
Figura 5.15 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 3 (em vermelho): (a) direção leste-oeste e (b) direção sudeste-noroeste	127
Figura 5.16 – (a) Carta imagem da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 4	128
Figura 5.17 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c); declividades; (d) curvaturas do perfil (e); curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	130
Figura 5.18 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 4: (a) direção sudeste-noroeste e (b) direção sudoeste-nordeste	132
Figura 5.19 – (a) Carta imagem da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 5	133
Figura 5.20 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5: (a) hipsométrico.; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f); comprimentos de fluxo.....	135
Figura 5.21 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 5: (a) direção norte-sul e (b) direção oeste-leste	137
Figura 5.22 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 6	138
Figura 5.23 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	139
Figura 5.24 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 6: (a) direção norte-sul e (b) direção leste-oeste	142
Figura 5.25 – (a) Carta imagem da área bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço ..	143
Figura 5.26 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o 7: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	144
Figura 5.27 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 7: (a) direção sudoeste-nordeste e (b) direção noroeste-leste	147
Figura 5.28 – (a) Carta imagem da área da bacia; (b) e (c) localização do Poço 7.1	148
Figura 5.29 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	150
Figura 5.30 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 7.1: (a) direção oeste-leste e (b) direção noroeste-sudeste	152
Figura 5.31 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 8	153

Figura 5.32 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	155
Figura 5.33 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 8: (a) direção norte-sul e (b) direção oeste-leste	158
Figura 5.34 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 9	159
Figura 5.35 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	160
Figura 5.36 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 9: (a) direção noroeste-sudeste e (b) direção sudoeste-nordeste	163
Figura 5.37 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 10	164
Figura 5.38 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo	165
Figura 5.39 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 10: (a) direção leste-oeste e (b) direção sul-norte	168
Figura 6.1 – Variação em profundidade do pH em água: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO	170
Figura 6.2 – Variação em profundidade do pH em KCL: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO	171
Figura 6.3 – Variação em profundidade do Δ pH: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO	171
Figura 6.4 – Variação em profundidade do teor de alumínio: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO	172
Figura 6.5 – Variação em profundidade da CTC: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO	173
Figura 6.6 – Variação em profundidade e entre os perfis de MO: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO	174
Figura 6.7 – Relação matéria orgânica <i>versus</i> capacidade de troca catiônica: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO	174
Figura 6.8 – Intensidade relativa dos picos na amostra fração integral conforme profundidade nos perfil dos Poços 1, 2, 3, 4, 5 e 6 situados na região norte de Goiânia-GO	177
Figura 6.9 – Intensidade relativa dos picos na amostra fração integral conforme profundidade	

nos perfil dos Poços 7, 7.1, 8, 9 e 10 situados na região sul de Goiânia-GO	180
Figura 6. 10 – Curva granulométrica dos solos dos perfis estudados com e sem defloculante, na região norte de Goiânia-GO	187
Figura 6. 11 – Curva granulométrica dos solos dos perfis estudados com e sem defloculante, na região sul de Goiânia-GO	188
Figura 6.12 – Peso específico natural (γ_n): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	193
Figura 6.13 – Peso específico seco (γ_d): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	193
Figura 6.14 – Peso específico dos sólidos (γ_s): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	194
Figura 6.15 – Índice de vazios (e): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	194
Figura 6.16 – Porosidade (n): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	195
Figura 6.17 – Limites de consistência e índice de plasticidade: (a) w_L ; (b) w_P e (c) IP na região norte de Goiânia-GO	196
Figura 6.18 – Limites de consistência e índice de plasticidade: (a) w_L ; (b) w_P e (c) IP na região sul de Goiânia-GO	197
Figura 6.19 – Carta de plasticidade: solos dos perfis estudados em Goiânia-GO	198
Figura 6.20 – Atividade da argila <i>versus</i> teor de agregados: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	199
Figura 6.21 – Umidade de campo ($w_{\%}$): solos dos perfis situados na região norte de Goiânia-GO	201
Figura 6.22 – Umidade de campo: perfis dos poços situados na região sul de Goiânia-GO	202
Figura 6.23 – Diferença sazonal de umidade (w_{nat}) entre os meses de janeiro e agosto-setembro/2010: perfis situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	203
Figura 6.24 – Diferença sazonal de umidade (w_{nat}) entre os horizontes de um mesmo perfil, em poços situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	206
Figura 6.25 – Diferença de umidade (w_{nat}) no perfil entre as profundidades 0,10 e 0,50 m em agosto-setembro/2010, em poços estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	207
Figura 6.26 – Grau de Saturação (S_r) correspondente aos meses de janeiro e de abril/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	209
Figura 6.27 – Grau de Saturação (S_r) correspondente a julho e agosto-setembro/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	210
Figura 6.28 – Peso específico natural do solo (γ_d): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	211

Figura 6.29 – Coleta de material realizada em agosto-setembro/2010 para obtenção do γ_n (método não convencional): (a) Poço 2 em 0,5 m e (b) Poço 8 em 2 m	212
Figura 6.30 – Correlação entre o peso específico seco: método da balança hidrostática <i>versus</i> método não convencional (estimado) – solos dos perfis dos poços 1, 3, 4, 6, 8 e 10 – profundidades 1 e 3 m	213
Figura 6.31 – Curva característica: relação sucção <i>versus</i> umidade (w) dos solos dos perfis – (a) Poço 1; (b) Poço 6 e (c) Poço 8 – situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	215
Figura 6.32 – Curva característica: relação sucção <i>versus</i> saturação (Sr) dos solos dos perfis – (a) Poço 1; (b) Poço 6 e (c) Poço 8 – situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO	216
Figura 6.33 – Taxa de infiltração obtida em abril/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	220
Figura 6.34 – Taxa de infiltração obtida em julho/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	221
Figura 6.35 – Taxa de infiltração obtida em agosto- setembro/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO	222
Figura 6.36 – Variação da taxa de infiltração <i>versus</i> variação do diâmetro do furo: profundidade de 0,5 m – Poço 1 na região norte de Goiânia-GO	223

LISTA DE ABREVIACOES, NOMENCLATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Δh	Variacão do nível d'água no poço
Δt	Tempo acumulado na variao do nível d'água no poço
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
A	rea disponível para infiltrao
a	Coefficiente empírico dependente do tipo do solo
AB	Alta Bolívia
ABGE	Associao Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT	Associao Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
C	Chuvoso
C. D.	Com defloculante
Cb	Cambissolo Háplico
CIT	Convergência Intertropical
CL	Argila de baixa plasticidade
cm	Centímetro
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
COMDATA	Companhia de Processamento de Dados do Município de Goiânia
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSUS	Ciclos sucessivos de umedecimento e secagem
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DISME	Distrito de Meteorologia
DRX	Difraco de Raios-X
DSR/INPE	Divisão de Sensoriamento Remoto/ Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
E	Leste
Ec	Equatorial Continental
EMBRAPA/CPAC	Empresa Brasileira de Agropecuária/ Centro de Pesquisa Agropecuária do Cerrado
ENOS	Eventos do Pacífico Tropical Oscilao Sul
ESE	leste-sudeste
f_0	Taxa de infiltrao básica (mm^{-1})
FP	Frente Polar
g	Gramas
GECON/ UFG	Programa de Pós-Graduao em Geotecnia, Estruturas e Construo Civil da Universidade Federal de Goiás
GPS	<i>Global Positioning System</i>
h	Altura Solar
H	Profundidade do furo para obteno da área do fundo do poço

ha	Hectare
I	Taxa de infiltração
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Consistência
I _{campo}	Taxa de Infiltração de campo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Índice de Plasticidade
IT	Linhas de Instabilidade
K	Permeabilidade
k	Coefficiente empírico dependente do tipo do solo
KCL	Cloreto de potássio
Kg	Quilograma
Km ²	Kilometro quadrado
Lai	Lâmina total de água infiltrada no solo ou infiltração acumulada
LV	Latossolo Vermelho
LVA	Latossolo Vermelho-Amarelo
m	Metro
m	Metro
MC	Muito Chuvoso
MCT	Miniatura, Compactada e Tropical
MDE	Modelo de Elevação do Terreno
MH	Silte de alta plasticidade
ML	Silte de baixa plasticidade
mm	Milímetro
MO	Matéria Orgânica
MS	Muito Seco
MUBDG	Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia
N	Normal
N	Norte
NBR	Norma Brasileira
NE	Nordeste
NNE	norte-nordeste
NV	Nitossolo Vermelho
NW	Noroeste
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
Pa	Polar Atlântica
PUC-GO	Pontifícia Universidade Católica de Goiás
r	Diâmetro do furo para determinação da área do poço
RMG	Região Metropolitana de Goiânia
RSI	Radiação solar incidente

S	Seco
S	Sul
S. D.	Sem defloculante
SE	Sudeste
SMK	<i>Mann-Kendall Sazonal</i>
SP	São Paulo
SSE	sul-sudeste
SUCS	Sistema Unificado de Classificação de Solos
SW	Sudoeste
t	Tempo acumulado ou oportunidade para infiltrar a lâmina de água no solo
T. A.	Teor de agregação
Ta	Tropical Atlântica
Tc	Tropical Continental
T _{comp}	Temperatura compensada do ar
TIB	Taxa de Infiltração Básica
TM	<i>Thematic Paper</i>
T _{máx}	Temperatura média máxima do ar
T _{mín}	Temperatura média mínima do ar
Tns	Tendência não significativa
TST	Temperatura de superfície do terreno
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFV	Universidade Federal de Viçosa
V	Volume infiltrado
W	Oeste
w _L	Limite de liquidez
w _P	Limite de plasticidade
Z ₁	Altura do nível d'água em t = 0
Z ₂	Altura do nível d'água em t = final
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
Z _{médio}	Variação da coluna de água
γ _d	Peso específico do solo seco
γ _n	Peso específico natural do solo
γ _s	Peso específico dos grãos
δ	Declinação Solar
φ	Latitude

1 - INTRODUÇÃO

A falta de planejamento voltado para o uso e ocupação do solo, condizente com a dinâmica do ambiente físico, tem acarretado sérios danos socioeconômicos e ambientais, observados principalmente nos centros urbanos. Nessas condições de ocupação mal ordenada, com a ocorrência de episódios pluviométricos intensos, em duração ou em distribuição, os processos na interface solo-atmosfera são deflagrados ou acelerados, ocasionando diferentes tipos de impactos.

Esses impactos são causados principalmente pela perda da estabilidade do maciço, comprometendo estruturas edificadas, com a desestabilização de taludes, provocando deslizamento de encostas ou mesmo intensificando processos erosivos. Outros problemas como assoreamentos e inundações também são recorrentes e agravam-se à medida que a paisagem humaniza-se.

Diante dos distintos problemas intrínsecos à degradação do meio físico, o comportamento dos solos não saturados tem despertado interesse na análise da interface solo-atmosfera, em particular nas regiões tropicais. Nessas regiões, os diferentes níveis de degradação são agravados, principalmente, devido às características do arranjo estrutural e à composição química e mineralógica do maciço, resultantes do intemperismo, relacionadas, portanto, às características climáticas do local.

Devido ao arranjo estrutural e à composição químico-mineralógica, os solos tropicais lateríticos apresentam comportamento hidromecânico peculiar. Em estreita relação com o grau de intemperismo, tais solos apresentam elevada porosidade, que se distribui entre os agregados, macroporosidade e, no interior desses agregados, microporosidade, conferindo-lhes uma estrutura bimodal. Os agregados são ligados por pontes de argila ou ligações cimentantes de sesquióxidos de ferro e/ou alumínio (Lima, 2003; Cardoso, 2002).

Tendo em vista essas características físico-químicas, mineralógicas e estruturais, pode-se dizer que os fluxos de umidade determinam as condições de estado desses solos, pois, além de responderem por constantes variações no conteúdo de água dos poros do solo, podem propiciar a degradação física pelo aumento da porosidade em função do transporte de partículas. Camapum de Carvalho et al. (2006) consideram esse fenômeno como esqueletização do maciço ou lixiviação dos elementos químicos solubilizados (Lima, 2003).

Nas regiões tropicais, as variações dos fluxos de umidade são sazonais e dependem principalmente de três componentes: a precipitação, a evaporação e o escoamento superficial (Gitirana Jr., 2005). Os dois primeiros, ao afetarem a sucção atuante no solo, interferem diretamente no último, por causa da alteração gerada no gradiente hidráulico.

Ao se considerar a variação nas condições de estado do solo, como a poropressão, a umidade e o índice de vazios, no entendimento da oferta e da demanda de umidade na fronteira solo-atmosfera, é necessária a compreensão dos fatores climáticos. O conhecimento das condições atmosféricas auxilia na análise da variação de umidade do solo, ao serem levados em conta os componentes relativos à precipitação total, à radiação solar, à velocidade dos ventos, à temperatura e à umidade relativa do ar. Dessa forma, a maior motivação para esta pesquisa deve-se à possibilidade de realização de uma análise integrada da interação entre dois sistemas do meio físico: o clima e os solos tropicais não saturados.

Os atributos do relevo, referentes à forma da superfície, também influenciam a variação de umidade e temperatura no solo. As características climáticas locais, associadas às formas da superfície, contribuem para a formação de unidades microclimáticas. Esses atributos morfométricos podem ser descritos por meio de altimetria, declividades, curvaturas e orientações das vertentes. Igualmente importantes são as modificações inerentes à ocupação do solo pela sociedade, que, ao humanizar uma paisagem, modifica o fluxo de energia entre superfície e atmosfera, com a possibilidade de alterações nas propriedades físicas de um maciço, em curto prazo (Lima, 2003).

Diante do exposto, tornam-se relevantes os estudos referentes ao comportamento hidromecânico de solos tropicais não saturados, que levam em conta as condições climáticas, em diferentes níveis escalares. Na análise regional, as condições climáticas são influenciadas pela dinâmica das massas de ar (dinâmica atmosférica) relacionada aos fatores físico-geográficos. Na análise microclimática, considera-se que os fatores topoclimáticos, dentre eles o relevo e a incidência solar, associados ao uso e cobertura do solo, respondem tanto pelas condições desse microclima, quanto pelas propriedades físicas e químico-mineralógicas do solo.

Segundo Lopes & Romão (2006), a região de Goiânia apresenta quadros físicos-bióticos e problemas ambientais peculiares distintos, consequências das diferenças apresentadas tanto pela geologia, litologia e estilo estrutural, quanto pelo relevo, solos, vegetação, uso e

ocupação do solo.

Atualmente, diversos problemas vivenciados principalmente pela sociedade urbana decorrem de mudanças ambientais em que a distribuição ou mesmo a intensidade de determinados episódios pluviométricos resultam, frequentemente, no avanço em profundidade de uma frente de umedecimento no solo, o que provoca a redução da sucção e a perda de resistência desse solo. Os elementos climáticos e os fatores físico-geográficos, em conjunto com os efeitos da própria ocupação humana, atuam nos processos de infiltração, evaporação e escoamento superficial.

Em função das características climáticas das regiões tropicais e das especificidades dos solos tropicais sob condição de não saturados, o entendimento da variação sazonal da umidade na atmosfera permite a previsão do comportamento dos solos, por meio da compreensão dos fluxos de umidade na interface solo-atmosfera.

1.1 - OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral associar atributos climáticos às características dos solos, considerando as condições de solos tropicais não saturados, na interface solo-atmosfera, e tendo como recorte espacial o Município de Goiânia-GO.

Levando-se em conta a adoção do recorte espacial do Município de Goiânia, para o alcance do objetivo geral, os objetivos específicos desta pesquisa são:

- **Comportamento dos atributos atmosféricos:** identificar o comportamento temporal de atributos atmosféricos em séries históricas e possíveis tendências, o comportamento temporal da precipitação quanto à frequência e à intensidade, em anos excepcionais, chuvosos e secos, e o campo térmico da superfície;
- **Superfície:** caracterizar os atributos do relevo como elevação, declividades, comprimento de fluxos, curvatura e orientação das vertentes;
- **Subsuperfície:** caracterizar os perfis de solos inseridos em diferentes posições na paisagem quanto às propriedades químico-mineralógicas e geotécnicas.

Nesse sentido, a presente pesquisa apresenta, para a região de Goiânia, a análise integrada dos atributos do clima (precipitação, temperatura e umidade relativa do ar); da dinâmica térmica

sazonal das superfícies do terreno; do uso e cobertura do solo; dos atributos do relevo (como altimetria, declividades, comprimento de fluxos, curvaturas e orientações das vertentes). Dessa forma, busca-se evidenciar as possíveis variações das propriedades geotécnicas e do comportamento hidromecânico do solo.

1.2 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

O município de Goiânia apresenta extensão territorial de 739,492 km². Localiza-se entre as coordenadas planas E: 662.000 e 760.000 m e N: 8.141.000 e 8.179.000 m, situadas no Meridiano Central -51° W Gr., no Hemisfério Sul. O Censo Demográfico identificou em 2010 uma população para o Município de Goiânia de 1.318,148 de habitantes (IBGE, 2011). As áreas de estudo restringem-se a onze (11) pontos distribuídos no município de Goiânia (Figura 1). Dos locais de estudos seis deles encontram-se posicionados na porção norte do Município de Goiânia e os outros 5 na porção sul.

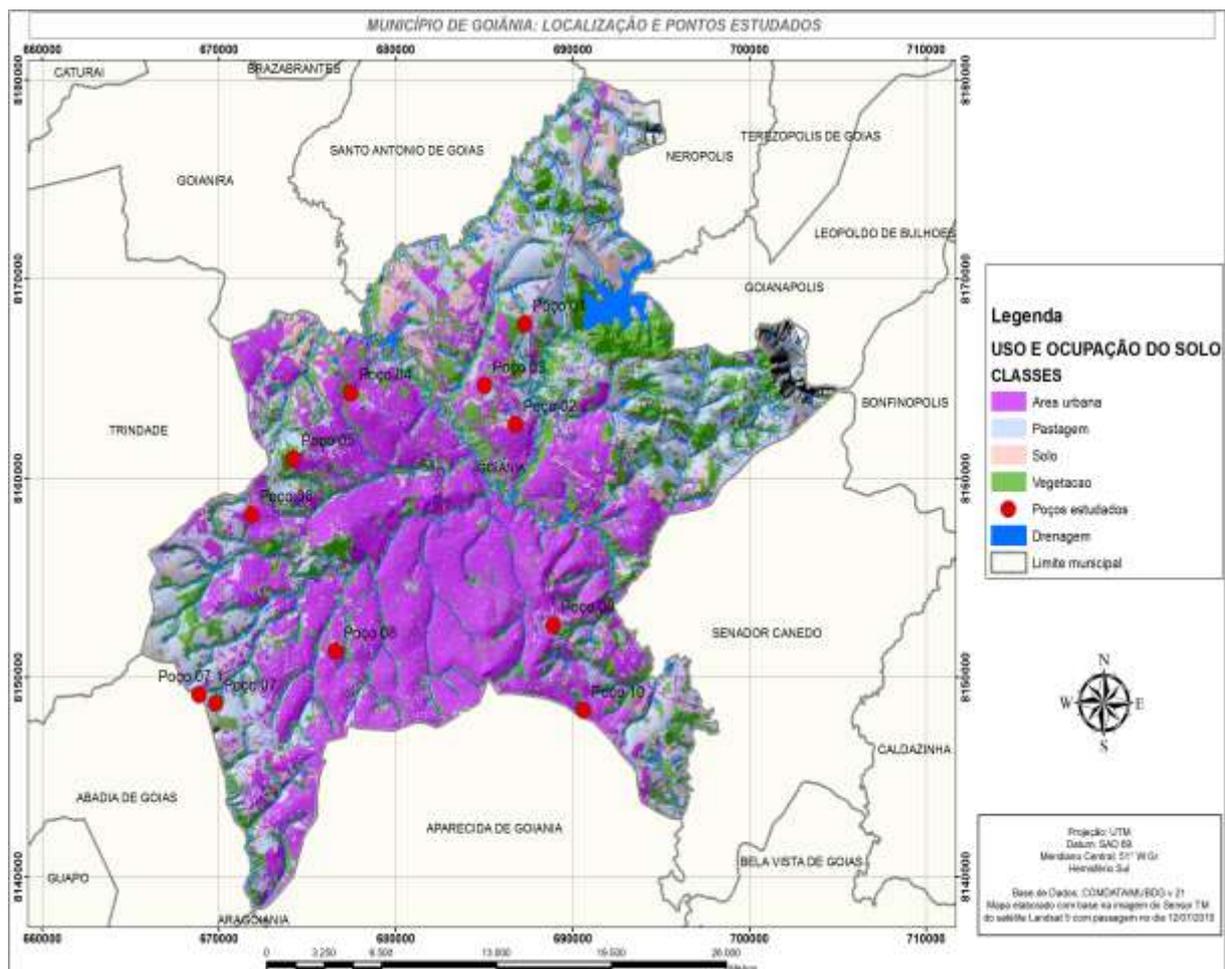


Figura 1.1 - Localização do Município de Goiânia e dos pontos selecionados para o estudo.

1.3 - ESCOPO DA TESE

A tese estrutura-se a partir deste Capítulo 1, introdutório, ao qual se segue o Capítulo 2, que apresenta a revisão da literatura, de forma a subsidiar a pesquisa com conceitos referentes aos temas abordados e as análises da fase experimental desta pesquisa.

No Capítulo 3, são descritos a metodologia, os materiais e procedimentos usados na execução de cada uma das etapas desenvolvidas na pesquisa.

O Capítulo 4 apresenta análise da variação interanual e sazonal dos atributos atmosféricos (como precipitação, temperatura e umidade relativa do ar) e das possíveis tendências; a identificação dos anos-padrão; a frequência e a intensidade dos episódios pluviométricos. Também apresenta análise sazonal da dinâmica térmica do terreno e as possíveis coincidências espaciais da temperatura aparente da superfície com a cobertura do solo e orientação das vertentes.

O Capítulo 5 apresenta características ambientais da região de Goiânia, a partir de levantamentos de dados diretos e indiretos, e a caracterização fisiográfica das bacias e dos poços estudados, contemplando atributos do relevo como altimetria, declividades, orientações das vertentes, curvaturas (no plano e no perfil) e comprimentos de fluxos.

O Capítulo 6 apresenta os resultados dos ensaios realizados em laboratório na obtenção das características químico-mineralógicas e das propriedades geotécnicas dos perfis estudados e, em campo, os dados da umidade e da infiltração, coletados de maneira sazonal. Apresenta, ainda, a discussão das possíveis relações entre o comportamento da precipitação, a umidade relativa do ar, a temperatura, a curvatura do terreno, a orientação das vertentes, as declividades, o comprimento de fluxo e cobertura do solo com as propriedades geotécnicas do solo e o comportamento sazonal do clima, com os respectivos resultados obtidos a partir dos ensaios realizados *in situ* e em laboratório.

No Capítulo 7, são apresentadas as conclusões a partir das discussões realizadas nos Capítulos 4, 5 e 6. Além disso, são feitas sugestões para pesquisas futuras.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo apresenta a revisão bibliográfica, dividida em três partes. Na primeira, são abordados os desdobramentos escalares do clima, desde as escalas superiores, caracterizadas pela dinâmica regional dos sistemas atmosféricos, até as inferiores, em que se destacam as características fisiográficas associadas ao uso e cobertura do solo que determinam unidades microclimáticas. Na segunda parte, são apresentadas as propriedades dos solos tropicais, considerando a condição não saturada, presente nas profundidades, desde a superfície até 3 m e quando possível até 4 m de profundidade. Essa condição é relacionada à interface solo-clima, segundo a literatura pertinente. Na terceira parte, tais propriedades, que interferem nos processos atuantes, são associadas às condições fisiográficas.

2.1 - ESCALAS DE ANÁLISE DO CLIMA

As características do clima estão diretamente associadas ao resultado do balanço de energia entre a radiação solar, a atmosfera e a superfície terrestre. Qualquer modificação em um desses sistemas altera o balanço de energia nos demais, produzindo variações climáticas, segundo Ayoade (1991). Enquanto componente do meio físico, o clima atua por meio da troca de energia e matéria na composição dos cenários paisagísticos e determina distintas unidades ambientais, conforme Sant'Anna Neto (1998). Por estabelecer relação de interdependência, Nimer & Brandão (1989) afirmam que as variações climáticas assumem importante papel nos estudos das complexas interações dos meios bióticos e abióticos, pois representam um fator ativo dessas relações, tanto como insumo de energia, quanto como regulador dos processos inerentes às referidas interações.

Segundo Bigarella et al. (1994), há um complexo processo de interação entre os elementos de determinada região fisiográfica, na qual a formação e o desenvolvimento de cada elemento depende de outros componentes do meio físico. A relação entre atmosfera e superfície demonstra a complexidade das interações na evolução dos solos tropicais não saturados. Essa complexidade pode ser compreendida a partir dos mecanismos relacionados à atmosfera que comandam os processos de intemperismo. Segundo Palmieri & Larach (1996), o clima constitui um dos mais importantes agentes que determinam as propriedades dos solos. Essas características resultam das condições climáticas regionais e/ou microclimáticas. Além disso, os efeitos topográficos têm influências marcantes no desenvolvimento das propriedades e nas variações físico-químicas, mineralógicas e estruturais dos maciços.

Nesse contexto, a compreensão dessas relações deve ser feita por uma análise geográfica que considere a dinâmica atmosférica, a qual ocorre a partir de espaços climáticos organizados em diferentes escalas. Essas escalas compreendem níveis hierárquicos de grandezas climáticas, tanto espaciais quanto temporais, conforme Tabela 2.1 de Mendonça & Danni-Oliveira (2007).

Tabela 2.1 – Organização das escalas espacial e temporal do clima (modificado de Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

Ordem de Grandeza	Subdivisões	Escala Horizontal	Escala Vertical	Temporalidades das Variações mais Representativas	Exemplificação Espacial
Macroclima	Clima zonal	> 2.000 km	3 a 12 km	Algumas semanas a vários decênios	O globo, um hemisfério, oceano, continente, mares, etc.
	Clima regional				
Mesoclima	Clima regional	2.000 km	12 km a	Várias horas a alguns dias	Região natural, montanha, região metropolitana, cidade, etc.
	Clima local	a 10 km	100 m		
	Topoclima				
Microclima		10 km a alguns metros	Abaixo de 100 m	De minutos ao dia	Bosque, uma rua, uma edificação/casa, etc.

O comportamento da atmosfera é definido pela atuação de sistemas denominados atmosféricos, cuja atuação sobre extensas superfícies configura as escalas superiores do clima. Esses sistemas, de acordo com Monteiro (1976), determinam uma organização climática gerada pelos mecanismos da circulação regional, mantida pelo ritmo temporal dos estados atmosféricos.

Contribuições no campo da termodinâmica subsidiaram pesquisas na formulação de esboços climáticos do planeta, levando em consideração a dinâmica da atmosfera. Nessa perspectiva, Sorre (1951) e Pédelaborde (1970) acrescentaram aos estudos climatológicos a noção de ritmo e sucessão dos tipos de tempo atmosférico. No Brasil, essas influências foram observadas nas contribuições dadas por Serra & Ratisbonna (1942), Monteiro (1962, 1968, 1969, 1973), Tarifa (1975), Conti (1975), Lombardo (1985), Molion (1987; 2006), Nimer (1989), Nimer & Brandão (1989), Sant'Anna Neto (1990, 1995, 2001), Casseti (1991), Sette (1996), Boin (2000), Campos et al. (2002), Baldo (2006), dentre outros, os quais buscaram compreender as características climáticas de diversas regiões brasileiras a partir da dinâmica geral e regional da atmosfera.

Nos referidos estudos, as características geográficas são analisadas como reguladoras dos insumos de energia, modificando o balanço de energia entre a atmosfera e a superfície. Essas alterações resultam na variação das condições atmosféricas que, por sua vez, são determinadas pelas escalas superiores do clima. Os fatores topoclimáticos, como declividades, exposição e orientação e curvaturas das vertentes, além da velocidade e da direção dos ventos, associados ao uso e cobertura do solo, determinam o comportamento do clima no nível escalar inferior, configurando uma unidade microclimática. Considerando-se as escalas inferiores do clima, as variações espaciais das propriedades físico-químico e mineralógicas dos solos podem ser observadas a partir das diferenças espaciais da temperatura e do fluxo de umidade em seu interior.

De acordo com Mendonça & Danni-Oliveira (2007), dentro da hierarquia das escalas do clima, o microclima constitui a menor e a mais imprecisa unidade. Os fatores que determinam uma unidade microclimática referem-se a movimento turbulento do ar junto à superfície, possíveis obstáculos à sua circulação e detalhes do uso e da cobertura do solo. Associados aos controles climáticos do microclima, os fatores topoclimáticos assumem importante relevância nos estudos dos solos, pois as propriedades físicas, químico-mineralógicas e estruturais apresentam variações espaciais como consequência do intemperismo diferenciado. Desse modo, a incidência solar, as declividades, a exposição e a orientação, bem como as curvaturas das vertentes, a direção e velocidade dos ventos e a cobertura do solo comandam as variações espaciais da temperatura e da umidade no solo. Bigarella et al. (1994) consideram a temperatura e a umidade como sendo os principais elementos climáticos atuantes na determinação do grau de intemperismo, em que os processos químicos predominam sobre os processos físicos dos solos.

Segundo Geiger (1990), estudos considerando informações de temperatura da superfície do terreno e temperatura do ar realizado por Wolfe et al. (1949), apontam uma multiplicidade de condições microclimáticas registradas em um único vale, a partir de 109 estações microclimatológicas, contrapondo-se às condições de uniformidade do macroclima, dadas por valores registrados em 88 estações meteorológicas. Por outro lado, as recentes e constantes modificações da cobertura natural do solo, seja para a incorporação de estruturas urbanas, seja para o desenvolvimento das atividades agropecuárias, alteram o balanço de energia entre superfície e atmosfera e, conseqüentemente, modificam seu comportamento nesse nível escalar.

Diversos estudos avaliam as influências das alterações no balanço de energia sobre o comportamento dos elementos atmosféricos. Dentre eles, citam-se aqueles realizados por Oke (1978), Landsberg (1981) e Imamura-Bornstein (1992), os quais apresentam contribuições para o entendimento não só da alteração no balanço de energia, como também das variações da temperatura do ar e da umidade nos centros urbanos e nas regiões circunvizinhas. No Brasil, a partir da proposta metodológica de Monteiro (1976), diversas contribuições têm sido apresentadas, dentre as quais as de Lombardo (1985), Mendonça (1995, 2004), Zamparoni (1995), Sette (1996), Caseti (1992), Amorin (2005) e Nascimento (2011).

Considerando os níveis escalares do clima, dos superiores em direção aos inferiores, a gênese do clima de Goiânia pode ser entendida a partir da origem, frequência e trajetória de sistemas isobáricos positivos (anticiclônicos) e negativos ou depressionários (cyclônicos), formados na América do Sul. Segundo Ayoade (1991), esses sistemas se individualizam como massas de ar, nas quais as propriedades como temperatura e umidade refletem as características do local de origem. Os centros de ação positivos, atraídos pelos centros de ação negativos, ora avançam, ora recuam para o interior do continente, atuando com maior ou menor intensidade em diferentes momentos do ano, de acordo com Monteiro (1951, 1968), Tarifa (1975) e Campos et al. (2002). A partir da sazonalidade definida por esses sistemas, os elementos climáticos como precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, associados aos fatores físico-geográficos como altitude, exposição e orientação de vertentes, uso e cobertura do solo, determinam as unidades microclimáticas.

2.1.1 - DINÂMICA CLIMÁTICA DE GOIÂNIA

A compreensão dos sistemas atmosféricos atuantes em Goiânia pode ser realizada por meio da análise dos sistemas atuantes na América do Sul, sobretudo aqueles com participação mais efetiva sobre a região Centro-Oeste, conforme ilustrado na Figura 2.1. A influência desses sistemas ocorre com menor ou maior intensidade em função da localização intracontinental do Município de Goiânia, do local de origem e da trajetória de cada um até o interior do país.

Monteiro (1951) e Ayoade (1991) definem que os fatores latitude e continentalidade exercem significativa influência na trajetória dos sistemas atuantes sobre a região Centro-Oeste, com modificações de propriedades decorrentes das incursões sobre o interior do continente. Essas modificações são evidenciadas, principalmente, na alteração da temperatura e da umidade. Por outro lado, também podem ser observadas modificações desses elementos conforme o uso e

cobertura do solo.

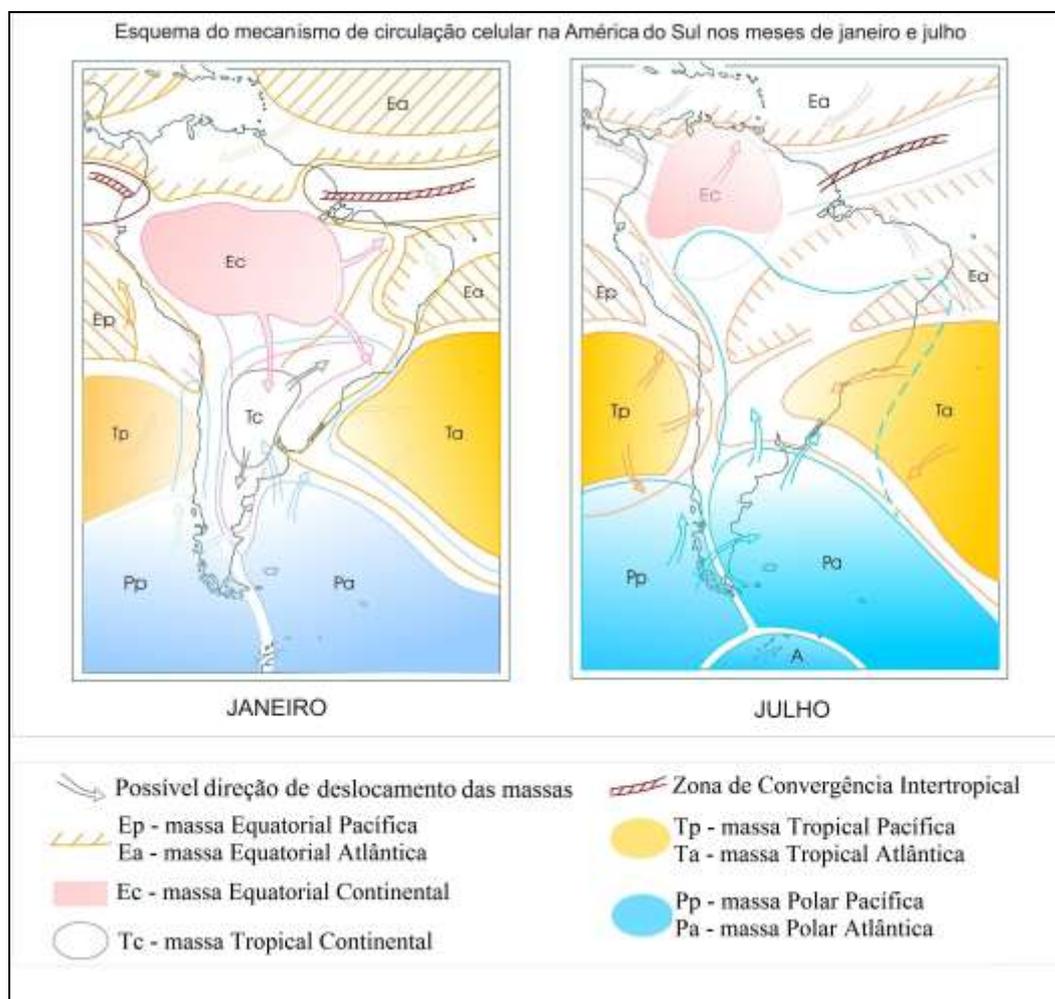


Figura 2.1 – Principais sistemas atmosféricos atuantes na América do Sul (modificado de Monteiro, 2000).

A região Centro-Oeste recebe influência dos centros de ação positivos, originados do sistema isobárico de alta pressão denominado Anticiclone do Atlântico Sul e do sistema designado Anticiclone Migratório Polar. O primeiro, o Anticiclone do Atlântico Sul, avança para o interior do continente, enquanto massa de ar Tropical Atlântica (Ta) e define a condição de estabilidade atmosférica, determinando o período de estiagem na região Centro-Oeste. O segundo, o Anticiclone Migratório Polar, atinge a região como massa de ar de origem de Frente Polar (FP). A influência desse sistema ocorre através da massa de ar Polar Atlântica (Pa), responsável pelos mecanismos frontológicos e pela redução da temperatura, de acordo com Monteiro (1951). Já os centros de ação negativos, denominados de depressões ou sistemas ciclônicos, são formados nas regiões de baixa pressão no interior do continente, na Depressão Amazônica e Depressão do Chaco. Ambos são de origem térmica devido ao

aquecimento do continente, sendo representados, respectivamente, pelas massas de ar Equatorial Continental (Ec) e Tropical Continental (Tc).

O primeiro, atraído pelos sistemas térmicos e dinâmicos do interior do continente, avança de noroeste (NW) para sudeste ou para leste/sudeste (SE/ESE), configurando um corredor de umidade no sentido longitudinal, do norte do país até a região sudeste. Essa configuração tem início na primavera e persiste durante o verão, de acordo com Monteiro (1968). O segundo sistema, massa de ar Tropical Continental (Tc), é resultado do forte aquecimento do interior do continente, especificamente sobre a área plana de baixa latitude, localizada na região do Chaco Paraguai (Baixa do Chaco), e intensifica-se no verão, conforme Nimer (1989). Esse sistema apresenta-se como uma massa de ar quente e seca, mas, segundo Vianello & Maia (1986), caso esteja suprida de vapor de umidade, pode provocar elevados índices pluviométricos.

Segundo Nimer & Brandão (1989), a estabilidade atmosférica conferida à região Centro-Oeste é quebrada pela atuação de três sistemas, os quais geram perturbações e promovem as precipitações no período entre primavera e verão. Esses sistemas são os Sistemas de Oeste, de Norte e de Sul. O Sistema de Oeste é representado, conforme os autores apresentam, pelas Linhas de Instabilidade (IT). A descrição desse Sistema dada pelos referidos autores é compatível com a dinâmica atualmente atribuída à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O Sistema de Norte é representado pela Convergência Intertropical (CIT), conhecido também como Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Por fim, o Sistema de Sul é representado pelas Frentes Polares (FP).

Durante a primavera e o verão, atua, ainda, sobre a região Centro-Oeste, o Sistema Atmosférico, denominado Alta da Bolívia (AB). Esse sistema apresenta características de circulação anticiclônica de grande escala na troposfera superior e está associado a uma intensa liberação de calor latente. De acordo com Virji (1981), Gandu & Silva Dias (1994) e Evangelista (2004), como está conexo a um movimento anti-horário em altos níveis da atmosfera, o Sistema Atmosférico transporta umidade, o que contribui para reforçar as chuvas na região. No verão, na região Centro-Oeste, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) tem marcante influência no comportamento das chuvas no Brasil. Esse sistema atmosférico é evidenciado a partir de uma faixa de nebulosidade que é formada na América do Sul, tendo a sua orientação de noroeste para sudeste (NW/SE), conforme apresentado na

Figura 2.2. Sua origem é devida à junção da Zona de Convergência Intertropical (ZCTI), da Alta da Bolívia (AB) e de sistemas frontais oriundos das regiões subtropicais (Pa). A conexão desses sistemas gera uma elevada atividade convectiva que se instala durante o verão sobre o interior do continente e, conseqüentemente, sobre a região Centro-Oeste. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é bastante complexa, pois se manifesta desde a baixa troposfera até altos níveis da atmosfera, e ocasiona períodos prolongados de chuvas em determinadas regiões brasileiras. A ZCAS, conforme apontam Vianello (1991) e Quadro (1994), é um dos principais fenômenos atmosféricos que determinam o período das chuvas na região Centro-Oeste.



Figura 2.2 – Imagem de Satélite: configuração da ZCAS (modificado de Diniz, 2004).

Casseti (1993), a partir da direção e velocidade dos ventos em Goiânia (Figura 2.3), confirma a participação dos sistemas atuantes na região Centro-Oeste. De maio a outubro, predominam os ventos de leste (E) e sudeste (SE), justificando a atuação da massa de ar Tropical Atlântica (Ta) e confirmando o que Monteiro (1951) e Nimer (1989) consideram acerca da estabilidade atmosférica.

Para o período de outubro a março, Casseti (1993) observou uma predominância dos fluxos de

ventos de NW e N. Essa condição caracteriza as incursões dos sistemas perturbadores oriundos da região norte do país, a partir da ZCIT e da massa de ar Equatorial Continental (Ec), que, associados à formação da ZCAS e ao sistema AB, determinam o comportamento das chuvas em Goiânia. Mediante o exposto, o clima de Goiânia apresenta, como característica, duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. Considerando a atuação sazonal dos sistemas atmosféricos, a Tabela 2.2 apresenta a relação entre a atuação de cada sistema, a origem e o período de influência em Goiânia.

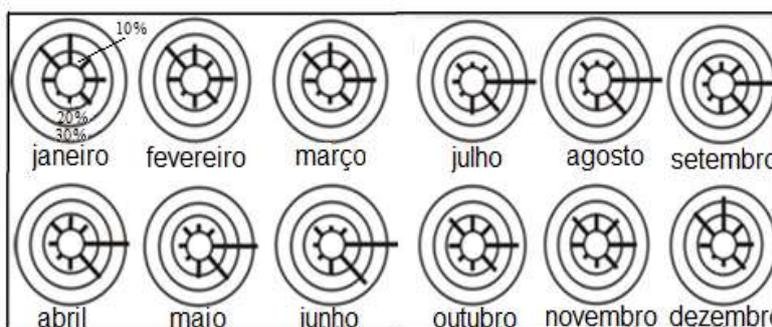


Figura 2.3 – Direção e frequência dos ventos em Goiânia (modificado de Casseti, 1993).

De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental realizado pela DBO ENGENHARIA LTDA (2004), a concentração das chuvas na cidade ocorre no período de outubro a março e responde por 83% a 88% dos totais anuais pluviométricos. Os maiores índices acontecem entre dezembro e março, com precipitação média mensal acima de 250 mm. A estação seca compreende os meses entre abril e setembro. A precipitação média dos meses menos chuvosos, de junho a agosto, é inferior a 10 mm. As temperaturas mais elevadas são observadas em setembro, outubro e novembro, com médias entre 29 e 31°C.

Tabela 2.2 – Principais sistemas atmosféricos atuantes na região de Goiânia e seus efeitos nas características do clima.

Sistema Atmosférico	Origem	Período/ano	Efeitos
mTa	SE/E	Ano todo	Estabilidade atmosférica, estiagem prolongada no outono e no inverno.
mTc	NW	Verão	Elevação da temperatura; ocorrência dos veranicos.
mEc	NW/N	Primavera e Verão	Instabilidade atmosférica; Precipitação convectiva.
mPa	SE/E	Inverno e Primavera	Diminuição da temperatura; precipitação frontal.
ZCAS	NW/SE	Verão	Intensificação das chuvas: convectiva e frontal.

Os meses mais frios correspondem a junho e julho, com médias entre 13 e 18°C. Esses índices retratam a elevada amplitude térmica observada durante esses meses em Goiânia, podendo atingir valores superiores a 10°C. No período de inverno, ocorrem os menores valores de umidade relativa do ar, quando os índices, segundo IBGE (1999), atingem valores inferiores a 20%. Os baixos índices de umidade relativa do ar estendem-se até a primavera, quando, no retorno do período chuvoso, a condição de umidade melhora. Segundo Campos et al. (2003), os meses de julho, agosto e setembro correspondem ao período de maior taxa de evaporação, respectivamente 173, 202 e 192 mm, conforme dados da Estação Meteorológica do 10° DISME (INMET) para as Normais Climatológicas de 1961-1990.

A distribuição anual da precipitação na cidade de Goiânia apresenta episódios extremos, os quais podem ser superiores a 50 mm/hora ou maiores que 80 mm acumulados em 24 horas, de acordo com os dados de Campos et al. (2003). Esses eventos causam perda elevada de sedimentos por escoamento superficial, incrementando processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água, o que favorece inundações e enchentes, comprometendo, também, a recarga natural. Com base nas informações da Comissão Nacional de Energia Nuclear e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CNEN/CPRM, 1993) citadas por Romão & Souza 2006, apresenta-se, na Tabela 2.3, o tempo de retorno das precipitações intensas em Goiânia.

Tabela 2.3 – Tempo de retorno das chuvas intensas em Goiânia-GO (Romão & Souza, 2006).

PRECIPITAÇÕES (mm)				
Tempo de Recorrência				
Duração	1 ano	2 anos	5 anos	10 anos
5 min	10	12	15	17
15 min	24	28	31	36
30 min	36	38	44	56
1 h	44	54	66	70
2 h	51	64	87	94
4 h	62	74	98	105
9 h	65	80	105	110
24 h	75	90	120	145

Os estudos realizados por Casseti (1991), Fonzar (1997), DBO Engenharia Ltda (2004), Campos (2003) e Luiz et al. (2006) atribuem à intensificação do processo de urbanização as modificações dos elementos climáticos temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e evaporação. Casseti (1986), ao estudar o centro urbano e a periferia da cidade de Goiânia, encontrou variações de até 4°C nos valores de temperatura do ar e de até 20% na umidade relativa do ar. Os valores mais elevados da temperatura do ar correspondem aos índices mais

baixos da umidade do ar e encontram-se situados na região central do sítio urbano de Goiânia. Levantamento realizado por Fonzar (1997), a partir das Normais Climatológicas de 1931-1960 e de 1961-1990, indicou aumento na taxa de evaporação, respectivamente, de 1.361 e 1.576 mm.

Luiz et al. (2006), a partir de medidas realizadas em diversos pontos na cidade em outubro de 2005, apontaram variações nos valores da temperatura e da umidade relativa do ar, em função de diferentes tipos de cobertura do solo. Em termos de diferenças térmicas mais significativas, pode ser destacado o Parque Areião, na região sul, com diferença no valor da temperatura do ar de até 8°C inferior à da região central da capital. Quanto à umidade relativa do ar, foram constatadas, às 16h, diferenças de 15% entre o Parque Areião e a Praça Central do setor Pedro Ludovico, ambos situados na região sul da cidade. Na Tabela 2.4, registra-se a variação temporal dos elementos precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e evaporação em Goiânia entre 1939 e 1990, conforme estudos realizados por Caseti (1991), IBGE (1999) e Fonzar (1997).

Tabela 2.4 – Variação temporal dos elementos precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e evaporação em Goiânia-GO.

Atributos do clima	Período analisado			
	1939-1987 (Caseti, 1991)	1944-1988 (IBGE, 1999)	1931-1960 (Fonzar, 1997)	1961-1990 (Fonzar, 1997)
Temperatura Média do ar (°C)	Máx. 22,6	23,0	21,9	24,7
	Mín. 16,4	16,7	15,2	17,7
Umidade relativa média do ar (%)	68,7	67,5	71,5	66,0
Precipitação (mm)	1.551,0	1.505,7	1.487,2	1.575,9
Evaporação (mm)	--	--	1.361,0	1.576,9

2.1.2 - MICROCLIMA

A interação da energia solar com a superfície do solo faz com que este seja fonte de aquecimento e resfriamento, influenciando a troca de energia. A troca de energia ocorre tanto na interface solo-atmosfera quanto ao longo do perfil do solo, que constitui também uma fonte de vapor de água, poeira e gases. Na camada superficial do solo, aparecem diferenças entre os elementos meteorológicos, ocorrendo tanto entre a superfície do solo e a camada de ar sobrejacente no sentido vertical, quanto em pequenas áreas no sentido horizontal. Essas variações ocorrem por causa das diferenças de altitude, dos declives no terreno, da orientação

das faces das vertentes, do tipo de solo em relação a cor, umidade, estrutura física e composição química e mineralógica, bem como do uso e cobertura do solo, de acordo com Costa (1973), Lombardo (1985), Mendonça (1995) e Geiger (1990). As condições microclimáticas resultantes dessas interações são de grande interesse às práticas da engenharia geotécnica, porque são essas as condições dominantes na camada limite entre solo e atmosfera.

Segundo Azevedo et al. (1990), dentre os fatores relacionados às características microclimáticas, a energia solar incidente sobre uma superfície consiste na principal fonte de energia para os processos físicos e químicos, como o aquecimento do ar e do solo, e o fluxo da água e dos ventos, que ocorrem na interface superfície-atmosfera. A radiação solar depende da declinação solar (δ) e da latitude (φ) que está diretamente relacionada à altura solar (h) de cada lugar. A radiação solar pode ser expressa segundo a Lei do Cosseno de Lambert (Tubelis & Nascimento, 1992), a qual permite o entendimento da variação diária e sazonal da irradiância solar. Essa variação influenciará o comportamento dos elementos meteorológicos, como, por exemplo, a temperatura do ar, conseqüentemente a temperatura da superfície.

A Lei do Cosseno de Lambert considera que os raios solares incidentes sobre uma superfície dependem da orientação da radiação (Figura 2.4). Devido ao movimento de rotação e translação da Terra, o ângulo zenital (Z), ângulo formado entre o zênite e os raios solares, varia de acordo com a latitude, ao longo do dia e do ano. Ao nascer do sol, o ângulo zenital é igual a 90° , sendo a irradiância solar igual a zero. A partir da diminuição desse ângulo, a irradiância aumenta até atingir o seu momento máximo, que durante o dia é ao meio-dia, momento em que o sol passa pelo meridiano local.

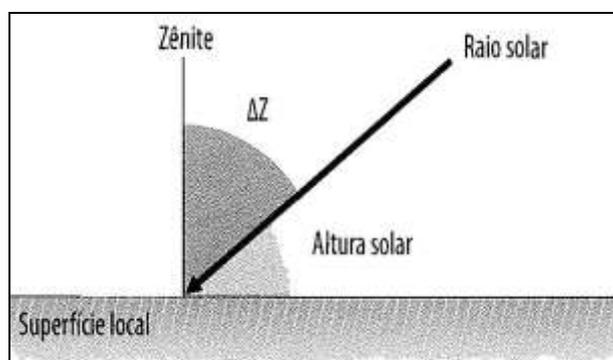


Figura 2.4 – Variação da elevação solar e do ângulo zenital (modificado de Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

A Lei do Cosseno de Lambert mostra a relação entre a irradiância solar e o ângulo zenital (Z) a partir da Equação 2.1:

$$I_z = I_n \cos Z_h \quad (2.1)$$

em que:

I_n = constante solar;

Z_h = ângulo zenital em determinado instante.

$$\cos Z_h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos h \quad (2.2)$$

em que:

ϕ = latitude (0 a $\pm 90^\circ$);

δ = declinação solar (0 a $\pm 23,45^\circ$);

$\delta = 23,45 \sin [(360/365) \cdot (NDA - 80)]$;

h = ângulo horário = $[(\text{Hora local} - 12) \cdot 15]$

Segundo Mendonça & Danni-Oliveira (2007), quanto mais perpendicular for a incidência dos raios solares, menor será a área da superfície atingida, o que leva à maior concentração de energia por unidade de área. Conseqüentemente, o aquecimento dessas superfícies será maior. A Figura 2.5 mostra essa relação, em que a variação do ângulo zenital indica variação na irradiância solar, com efeito na variação da temperatura do solo e do ar. De acordo com Armani (2009), o ângulo de incidência dos raios solares, em conjunto com as características do relevo, como altitude, declividade e orientação das vertentes, rege as características topoclimáticas do local.

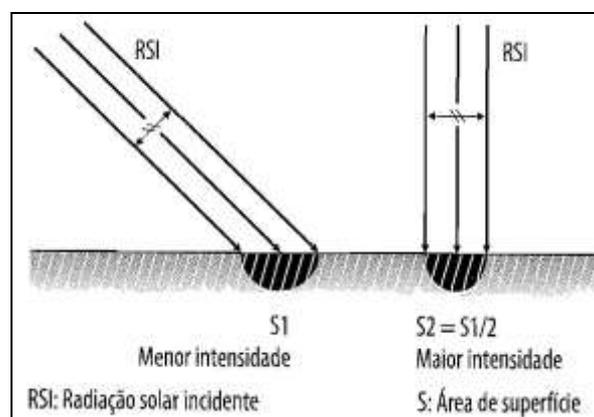


Figura 2.5 – Relação entre o ângulo de incidência dos raios solares, a espessura da atmosfera atravessada e a superfície aquecida (modificada de Mendonça & Danni-Oliveira, 2007).

Para Lombardo (1985), a influência da altitude relaciona-se com os gradientes verticais da atmosfera, que passam a ter maior ou menor estabilidade do ar em relação aos seus movimentos de convecção. De acordo com Mendonça (1995), no Hemisfério Sul, as vertentes com orientação norte, noroeste, nordeste, oeste e leste recebem mais energia calorífico-luminosa do que aquelas voltadas às demais direções. Geiger (1990) e Tarifa (2002) elucidam a importância da exposição das vertentes como fator controlador das condições microclimáticas. Os principais fatores que influenciam a exposição das vertentes aos raios solares são a orientação, a inclinação e o ângulo de incidência desses raios (altura solar).

Segundo Silingoschi Jr. (2006), esses fatores interferem na distribuição da energia calorífico-luminosa de tal modo que determinada situação da encosta influencia diretamente a formação do microclima, pois o balanço de energia ocorre de maneira diferenciada. Nesta pesquisa, foi levado em conta o fato de Goiânia apresentar maior porcentagem de áreas de baixas declividades, conforme será apresentado no capítulo 5. Desse fato é possível inferir que a influência da orientação das vertentes é pequena nessas áreas de baixas declividades, contudo, não é nula.

Como elemento do clima, o vento é o mecanismo que rege o transporte de massa de ar no sentido horizontal, sendo extremamente variável. Esse mecanismo resulta dos gradientes horizontais de pressão atmosférica, cuja variação depende dos fatores temperatura, altitude e umidade. Dentre os fatores microclimáticos, a temperatura e a umidade são os principais elementos a serem considerados, pois exercem influência a partir do aquecimento diferencial entre locais próximos. Esse aquecimento diferenciado gera uma célula de troca de ar entre duas localidades. Obedecendo ao gradiente de pressão atmosférica, a troca de ar ocorre das áreas de maiores pressões para as áreas de menores pressões. Junto ao solo, como consequência do atrito entre massas de ar em deslocamento e a superfície do solo, a velocidade do vento diminui, sendo nula junto à superfície, segundo Pinto & Aguiar Netto (2008). Tubelis & Nascimento (1992) apontam que, sobre superfícies vegetadas, a velocidade dos ventos se anula até o topo da planta ou pouco abaixo dela; a partir daí, o perfil de vento se estabelece.

As alterações no microclima em função das variações na cobertura do solo podem ser observadas nas pesquisas de Ribeiro & Santos (1975), que apontam para valores entre 25,6 e 42,3°C para solo arenoso exposto e 23,3 e 29,4 °C para solo sob vegetação natural. Alves et

al. (1999) analisaram os elementos climáticos registrados em áreas desmatadas (pastagem) e de floresta tropical, com o objetivo de compreender como o desmatamento afeta o ciclo hidrológico, especificamente em termos de evapotranspiração. Nessa avaliação, foi constatado que houve uma queda de 24% na evapotranspiração na área de pastagem. Fisch et al. (1997) verificaram variação sazonal no aumento da temperatura média do ar, do solo e do vento, além de redução na evaporação e umidade do ar para um período de seca mais prolongado na região da Amazônia. Furlan et al. (2011) mostraram que, com o aumento das áreas de pastagem, agricultura e urbanização, grande parte da energia em onda curta, despendida nos processos de evapotranspiração, está sendo devolvida para a atmosfera na forma de calor sensível, com correspondente aumento na temperatura do ar e também no fluxo de calor no solo.

Nascimento (2011), ao analisar as variações espaciais das temperaturas superficiais do terreno, em março do ano de 2010, para o Município de Goiânia, mostrou que as temperaturas da superfície atingiram variações de até 18°C, em função de diferentes tipos de cobertura e uso do solo. As temperaturas menos elevadas, em torno de 20°C, coincidiram com as regiões onde há maior predominância da cobertura natural, e as mais elevadas, que atingem até 38°C, corresponderam a manchas nas áreas periurbanas, nas áreas de solo exposto e nas superfícies dos locais mais densamente ocupados do sítio urbano.

Na análise do microclima, é importante considerar que a informação obtida por meio da imagem termal reflete o resultado do balanço de radiação de uma superfície. Parte da energia incidente sobre uma superfície é refletida, e a outra parte é absorvida. Para Mendonça (1995), a utilização de dados orbitais nos estudos climáticos permite elaborar documentos mais próximos da realidade, que retratam a distribuição espacial e a grandeza de alguns de seus elementos e fatores, indicando mais detalhes da sua variação, já que as isolinhas constituem em representação pontual. O intervalo espectral do infravermelho termal corresponde às assinaturas espectrais dadas pela emissividade da superfície, de acordo com Carrino & Souza Filho (2007).

Esse parâmetro indica a eficiência de uma superfície na emissão de energia comparada com um corpo negro. Conforme a Lei de Planck, a emissão espectral de radiação eletromagnética de um corpo é proporcional à sua temperatura. Assim, a emitância observada no sistema de sensores no infravermelho termal é função da temperatura e da emissividade da superfície e

está distribuída em termos de comprimento de onda no espectro eletromagnético, de acordo com Morães Novo (1998) e Gusso et al. (2007). Algumas pesquisas são direcionadas especificamente à determinação das emissividades em áreas urbanas e em ambientes naturais. Para qualquer material de superfície, certas propriedades internas, como capacidade calorífica e condutividade térmica, influenciam a temperatura de um corpo. Essas propriedades térmicas variam também de acordo com o tipo de solo e o teor de umidade.

De acordo com Weng et al. (2004) e Mendonça (1995), solos secos expostos têm sido associados à alta temperatura da superfície e à baixa inércia térmica. Os autores ressaltam que a temperatura radiante deve-se a variáveis da superfície relacionadas à umidade e à cobertura vegetal. Do exposto, destaca-se que a variabilidade do ciclo hidrológico, um processo estocástico no tempo e no espaço, é dependente da combinação de fatores do clima, como precipitação, evaporação e radiação solar, além de fatores do relevo, dos solos, do uso do solo e cobertura vegetal e das ações antrópicas (Tucci, 2002). Desse modo, em relação aos solos tropicais, em função da elevada temperatura e do comportamento sazonal da umidade, o maciço apresenta características peculiares de solos não saturados quanto ao comportamento geotécnico, nas profundidades existentes entre a superfície e o nível freático.

2.2 - PROPRIEDADES DOS SOLOS TROPICAIS NÃO SATURADOS E INTERFACE SOLO-CLIMA

A formação dos solos decorre de processo geológico, e o clima é fator de formação do solo, a partir da variação da temperatura e umidade, as quais influenciam nas propriedades químico-mineralógicas, físicas e estruturais do maciço. Os solos tropicais recobrem 65% do território brasileiro. Esses solos são altamente intemperizados, sobretudo pela influência das elevadas temperaturas e da distribuição das chuvas; pelo relevo, que influencia no processo de infiltração e drenagem das águas pluviais; pela fauna e flora (Toledo et al., 2000).

Para Fookes (1997), alterações decorrentes do processo intempérico são tão intensas nesses solos, que os materiais se comportam diferentemente do material de origem. A decomposição dos maciços rochosos é tão intensa, que ocorre a rápida quebra dos feldspatos e dos minerais ferromagnesianos, a remoção das sílicas e das bases (Na_2O , K_2O , CaO , MgO) e o aumento na concentração de óxidos de ferro e alumínio (Bigarella et al., 1994).

Devido ao intenso intemperismo, o comportamento mecânico e hidráulico dos solos tropicais

revelam importantes peculiaridades. Segundo Cardoso (2002), esses solos apresentam comportamento diferenciado devido ao arranjo estrutural e à composição químico-mineralógica, relacionadas ao alto grau de intemperismo. Em geral, apresentam elevada porosidade, que se distribui entre os agregados e no interior deles, conferindo, assim, estrutura bimodal. Isso faz com que sejam porosos e permeáveis, com poropressão negativa, e a variação desses parâmetros reflete no grau de saturação.

Uma das principais características dos solos tropicais lateríticos é o elevado teor de óxidos e hidróxidos de ferro, além da presença de argilominerais com o predomínio da caulinita. Esses óxidos e hidróxidos fazem ligações entre os argilominerais; conforme Cardoso (2002), os agregados são ligados por pontes de argila ou ligações cimentantes de sesquióxidos de ferro e alumínio. Lima (2003) argumenta que a sensibilidade dessas ligações apresenta expressiva variação devido às características climáticas.

Em função do arranjo estrutural e da composição químico-mineralógica, os solos tropicais apresentam o fenômeno da colapsibilidade estrutural, que poderá deflagrar, dentre outros, os processos erosivos. Segundo Souza (2005), o arranjo estrutural marcado pela macroporosidade é comum nos solos intemperizados, atribuindo condição de aparente coesão quando seco; por outro lado, quando há o aumento do teor de umidade, podem ocorrer redução de volume e posterior colapso desses solos.

Nas regiões tropicais, no manto de cobertura, até a profundidade acima da franja capilar, ocorre a presença de solos não saturados. O fato de os solos tropicais encontrarem-se, em sua grande maioria, na condição não saturada contribui ainda mais para certas particularidades inerentes ao seu comportamento. O comportamento dos solos não saturados é um assunto que tem despertado interesse de várias áreas do conhecimento, pois vários problemas de engenharia resultam de mudanças ambientais relacionadas, como, por exemplo, as chuvas excessivas, que podem ameaçar a estabilidade de um solo não saturado devido à variação da umidade (Marjerson, 2001). Vários são os problemas originados a partir da perda da estabilidade do solo não saturado, dentre os quais o comprometimento da estabilidade de taludes, de obras de barragens ou mesmo de estruturas edificadas.

Segundo Fredlund & Fredlund (1997), o comportamento do solo não saturado é relacionado com a geometria, o tamanho e a distribuição dos poros. Os conceitos e aplicações da Mecânica dos Solos, elaborados segundo o comportamento dos solos em condição de

saturação, não descrevem o comportamento dos solos não saturados, pois, sob essa condição, os solos são um sistema trifásico, composto por sólido-líquido-ar. Mais recentemente, incluiu-se a membrana contráctil na interface ar/água, considerada uma importante fase quando se consideram certos mecanismos físicos (Figura 2.6).

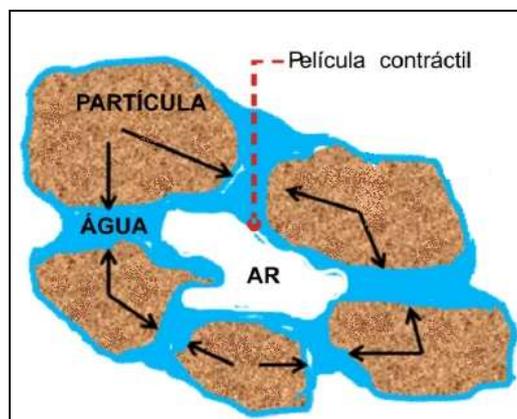


Figura 2.6 – Elementos do solo não saturado (modificado de Bueno, 1979).

Para Fredlund & Rahardjo (1993), as condições e o comportamento hidromecânico dos solos não saturados podem ser considerados como função das condições na interface solo e atmosfera. As variações no estado dos solos não saturados dependem principalmente das propriedades hidráulicas e da interação do solo superficial com a atmosfera. As condições atmosféricas respondem por constantes variações no conteúdo de água dos poros, influenciando o comportamento desses solos.

Segundo Wilson (1990), o fluxo de água entre solo e a atmosfera é um processo complexo, regido por três fatores importantes. O primeiro refere-se à oferta e à demanda de água, controladas pelas condições atmosféricas como a precipitação total, a radiação líquida e a velocidade dos ventos. O segundo é a capacidade da superfície de transmitir água, em função da permeabilidade e da capacidade de armazenamento do solo. O último fator é a absorção da água pela raiz das plantas, dependente de características do tipo e densidade da vegetação. Conforme Bonder & Miguel (2007), a quantidade de água retida no interior do solo depende de fatores como topografia e textura, estrutura do solo, clima, dentre outros.

As propriedades físico-químicas, mineralógicas e estruturais dos solos tropicais não saturados apresentam estreita relação com o movimento da água no solo por meio do fluxo ascendente, representado pelos processos de evaporação e/ou evapotranspiração, e do fluxo descendente, o qual ocorre a partir de diferentes formas de precipitação e é representado pela infiltração.

Segundo Fredlund & Rahardjo (1993), a variação dos fluxos de umidade determina as condições de poropressão no solo e corresponde às variações sazonais decorrentes das condições atmosféricas. No caso de regiões de clima tropical, situação comum no Brasil, o regime pluviométrico costuma combinar uma estação chuvosa seguida por outra com escassos eventos de precipitação.

As condições de poropressão no solo podem ser descritas por meio da relação entre a sucção e a quantidade de água armazenada. Essa relação é chamada de curva de retenção de água ou curva característica e tem sido utilizada para descrever o comportamento do solo não saturado (Silva, 2005). Assim, a distribuição de poropressão no solo não saturado se deve às condições ambientais e ao nível d'água. A poropressão varia com o tempo: durante as épocas secas, há o aumento da sucção em função da evaporação; nas épocas de chuva, há a diminuição nos valores de sucção em função processo de infiltração.

Para Nogueira (2005), a caracterização completa da interação solo-atmosfera deve incluir o estudo do fluxo interno no solo. Segundo Gitirana Jr. (2005), esse fluxo é representado pelos fluxos internos de água líquida, de vapor de água, de ar e de calor nos solos e está diretamente relacionado às taxas de evaporação e infiltração. Além de apresentar relação com as propriedades dos solos não saturados, o autor ressalta que esses fluxos também apresentam estreita relação com as condições de fronteira solo-atmosfera, as quais dependem principalmente de três componentes do ciclo hidrológico: a evaporação, a precipitação e o escoamento superficial.

Mudanças na distribuição do estado de tensão e na tensão normal dentro do maciço de solo acontecem em resposta aos fluxos de umidade no limite solo-atmosfera. Em função das características climáticas das regiões tropicais e das especificidades dadas aos solos tropicais, conhecer o padrão de fluxo se torna relevante, uma vez que a previsão do comportamento dos solos não saturados parte da compreensão dos fluxos de água entre solo e atmosfera.

Em solo não saturado, o ar tende a ocupar os vazios anteriormente ocupados pela água, diminuindo o espaço disponível para o seu fluxo. Segundo Feuerharmel et al. (2007), o fluxo de um solo não saturado representa um exemplo de fluxo multifásico, onde as fases água e ar coexistem nos poros do solo e podem ser classificadas como fluidos. O movimento desses dois fluidos depende do grau de saturação e da sucção do solo. Diante do decréscimo da quantidade de água, a seção de fluido nos vazios do solo se torna progressivamente menor,

podendo, a partir de certo ponto, no processo de secagem, interromper a continuidade entre as partículas; nesse momento, a permeabilidade pode ser considerada praticamente nula.

Quando a fase ar é contínua no solo, o que ocorre para maiores valores de sucção, a lâmina d'água do fluxo superficial sobre esse solo tende a sofrer, inicialmente, uma rápida infiltração. O fluxo é interrompido logo em seguida pela frente de ar, que, por sua vez, provoca o desprendimento de partículas e agregados, em um processo de ruptura localizada do solo. Para Camapum de Carvalho et al. (2006), esse processo constitui-se em uma das causas de deflagração do processo erosivo.

De acordo com Mota et al. (2007), a capacidade de infiltração constitui-se em importante propriedade do solo na análise da quantidade de água de escoamento superficial. Nesse sentido, Brandão et al. (2006) argumentam que o conhecimento do processo de infiltração da água pluvial no solo se torna relevante tanto para fornecer subsídios ao dimensionamento de estruturas de controle de erosão e de inundação, quanto para definir práticas de uso e manejo do solo.

O comportamento dos solos tropicais, no que se refere à infiltração, é influenciado pela estrutura dos macro e microporos, pelo grau de saturação inicial e pela sucção correspondente. Ainda que os solos não saturados apresentem uma descontinuidade da fase ar, em um primeiro momento, o processo de infiltração pode ser impedido por causa da presença do ar nos poros e da pressão que este exerce (Gitirana Jr., 2005). Assim, a infiltração, processo que caracteriza a passagem de água da superfície para o interior do solo, depende basicamente da água disponível, da natureza do solo, do estado da superfície desse solo e da quantidade de água e ar, inicialmente presentes no interior do maciço (Silveira et al., 2004). Acrescentam-se a esses fatores as condições ambientais de campo, dadas pela morfologia do terreno, pelas condições atmosféricas na interface solo-atmosfera, pelo uso e cobertura do solo e pela fauna, algumas vezes criando caminhos preferenciais de fluxo de água.

A obtenção de medidas de sucção tem se tornado imprescindível para a prática da engenharia, principalmente quando se considera que as atividades são desenvolvidas, em sua grande maioria, sobre solos não saturados. Para Fredlund & Fredlund (1997), a curva característica constitui-se em relação importante na compreensão do comportamento do solo não saturado. A sucção está associada à ocorrência de fluxo d'água no interstício do meio poroso não saturado, sendo esse fluxo gerado por gradientes de temperatura e/ou umidade relativa.

Segundo Oliveira & Marinho (2007), a sucção deve-se a uma combinação entre os efeitos capilares e aqueles devidos a forças de absorção, advindos da estrutura e do tipo de solo.

Várias técnicas estão atualmente disponíveis para mensuração da sucção matricial em campo e em laboratório (Fredlund & Rahardjo, 1993). Essas técnicas estão passando continuamente por atualizações e aferições. Fredlund et al. (1992) apontam a verificação de que nos últimos anos sensores de condutividade térmica produzem mensurações razoavelmente confiáveis. Padilla et al. (2004) e Rahardjo & Leong (2006) resumiram os métodos disponíveis mais comumente usados para a medição da sucção do solo. Cada método tem suas limitações de aplicação (Tabela 2.5). Os psicrômetros mostram que há pouca sensibilidade nos valores de sucção baixa e que sua sensibilidade diminui com o tempo.

Tabela 2.5 – Técnicas de medida de sucção (Ubaldo et al., 2006).

Método	Tipo de sucção medida	Faixa de medida (kPa)
Tensiômetro	Matricial e Total	0-90
Translação de eixos	Matricial	0-1500
Condutividade térmica	Matricial	0-400
Condutividade elétrica	Matricial e Osmótica	20-1500
Psicrômetro	Total e Osmótica	100-8000
Papel-Filtro	Matricial e Total	0-29000

Fredlund et al. (2000), ao realizarem comparações entre diferentes métodos de medidas de sucção, apontaram que os sensores de dissipação de calor apresentam vantagens, pois realizam medidas razoavelmente confiáveis da sucção do solo em extensa área. Esses sensores apresentam versatilidade e habilidade para se conectar aos sistemas de aquisição, de registro e de gravação dos dados automatizados. Conforme exposto, ao se considerar que os solos brasileiros estão inseridos no domínio dos solos tropicais, e que apresentam em grande parte comportamento de solos não saturados, torna-se relevante considerar as características do clima, e, principalmente, os efeitos da alternância entre as estações seca e chuvosa no comportamento desses solos.

Desse modo, os processos de interação solo-atmosfera, a partir da variação da temperatura e da umidade, na análise dos fatores geotécnicos são fundamentais para o entendimento das variáveis de estado do solo, como a sucção e a umidade. Essas variáveis influenciam tanto nas variações das propriedades físico-química e mineralógica (Lima, 2003) quanto no comportamento desses solos em relação à infiltração.

Segundo Flerchinger & Pierson (1999), a previsão da variação da temperatura e da umidade no solo permite melhor compreensão das interações entre os processos de superfície e a temperatura atmosférica. Ressalta-se que, nesses processos, a cobertura vegetal afeta a variabilidade espacial e temporal da água e da temperatura do solo. A temperatura do solo depende, em primeiro lugar, da quantidade de radiação solar incidente na superfície. Segundo Costa (1973), a quantidade de calor absorvida pelo solo varia com a latitude e a altitude do lugar, com o período do ano, com a hora do dia, com a proximidade de corpos hídricos, com as condições atmosféricas e com os fatores específicos do solo.

A temperatura do solo deve-se não só às condições que regulam a quantidade de radiação solar incidente, mas também às características externas e internas do solo. Costa (1973) afirma, ainda, que no interior do solo verificam-se condições específicas de temperatura, diferentes daquelas observadas na atmosfera. O regime térmico do solo e o seu regime hídrico são responsáveis pelo desenvolvimento de um verdadeiro clima em profundidade. Disso decorre o fato de existir um pedoclima, tal como se denomina o clima do meio atmosférico.

Segundo Santos Neto et al. (2002), além de dependente da radiação solar, a temperatura do solo relaciona-se à condução de calor entre os seus vazios. Tais autores partiram da premissa de que a média anual de temperatura do ar apresentava correlação com a temperatura de um solo. Em região tropical, esses autores, a partir de dados da temperatura do ar obtidos em abrigo meteorológico e dados da temperatura do solo, medida por meio de geotermômetros, estudaram a variabilidade diária da temperatura do ar e do solo em perfil em Caxiaunã-PA, durante os períodos úmido e seco. Os autores observaram que a temperatura do solo nas profundidades de 2 a 10 cm assumiu, ao longo do dia, valores maiores, em até 6°C, do que a temperatura do ar, principalmente no período seco. Nos níveis de 20, 30 e 50 cm, os valores da temperatura do solo apresentaram pequena amplitude térmica diária, tanto no período úmido quanto no seco, em comparação aos valores das outras profundidades mais superficiais e à temperatura do ar.

Vilani et al. (2006), ao realizarem o monitoramento sazonal em uma área de transição da Floresta Amazônica para o Cerrado, observaram uma variação sazonal das variáveis micrometeorológicas, na temperatura do ar e do solo e no conteúdo de água no solo. A temperatura do solo nesse local apresentou valores superiores à temperatura do ar, em aproximadamente 10 e 22%, em observações nas estações úmida e seca. Na estação seca e de

transição seca-úmida, a temperatura e a umidade do solo foram menores que nas estações úmida e transição úmida-seca.

O processo de saturação do solo, em função dos índices pluviométricos, ocorre de forma diferenciada de acordo com a profundidade. Souza (2005), ao analisar a umidade em um solo não saturado sob condição climática bem definida, descreve que a maior variação de umidade ocorreu nos três primeiros metros da camada do solo e que, a partir daí, houve pouca influência das precipitações pluviométricas. As camadas de 0,5 cm a 2,0 m de profundidade apresentaram variação de umidade em função da oferta pluviométrica, ocorrendo o máximo de umidade no período de máxima precipitação. As camadas de 2,5 a 7,5 m apresentaram máxima umidade no mês de abril. Nas camadas profundas, de 8,0 a 10,0 m de profundidade, a máxima umidade do solo foi atingida no mês de outubro.

Lima (2003) encontrou alterações de natureza físico-química e mineralógica em perfis de solos em voçorocas do Distrito Federal, associadas à influência do fluxo em meio saturado e não saturado, em consequência do processo de voçorocamento. As modificações nas propriedades dos solos ocorreram, em sua grande maioria, das voçorocas estudadas, até uma distância de 10 m. Em algumas bordas das voçorocas, foram observadas perdas de fração fina e redução nos limites de plasticidade e na quantidade relativa dos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Em outras, observaram-se o carreamento e a acumulação de finos na borda da voçoroca, com o aumento da fração fina e dos limites de plasticidade nessas zonas de acumulação.

Villagra et al. (1994) apresentaram dados experimentais realizados em Terra Roxa Estruturada, com o objetivo de verificar a variabilidade espacial das propriedades hidráulicas do solo. Para tanto, analisaram simultaneamente a umidade e o potencial de água no solo em uma extensão de 125 m, a uma profundidade de 1,5 m em área irrigada, durante o processo de drenagem interna. Os valores medidos apontaram para diferentes valores no tempo e no espaço da drenagem interna. Foram observados coeficientes de variação espacial da umidade e das propriedades hidráulicas do solo de 4% e 6%, respectivamente.

De Roo & Riezebos (1992), na modelagem da taxa de infiltração, analisaram a influência da formação de crostas e a energia cinética da água da chuva. Nessa modelagem, a variabilidade temporal do comportamento da infiltração foi atribuída à formação de crostas superficiais.

Segundo Es Van (1993), as práticas de manejo de solos podem afetar suas propriedades hidráulicas e o processo de infiltração, de forma dinâmica, no espaço e no tempo. A parametrização adequada da infiltração do solo em áreas agrícolas exige o conhecimento de diversas fontes de variabilidade sob diferentes sistemas de cultivo, condições atmosféricas e tipos de solo. Na agricultura, segundo Strudley et al. (2008), as propriedades hidráulicas dos solos podem ser afetadas tanto pelo manejo do solo, quanto pelo impacto de equipamentos pesados. Nesse contexto, Balbino et al. (2004) mostraram que latossolos em condições de pastagem apresentam diminuição significativa da água retida em até 40 cm de profundidade, quando comparados àqueles recobertos por vegetação nativa.

Conforme Borghetti et al. (2007), o experimento realizado em laboratório com solo arenoso simulando chuva artificial em caixa de acrílico contribuiu para o entendimento da infiltração da água da chuva sob condições homogêneas de compactação. Os autores apontaram para uma distribuição não uniforme da umidade após a infiltração e distribuição do fluxo com tendência para seguir caminhos mais úmidos. Declaram, ainda, que em solos arenosos a queda da condutividade hidráulica com a diminuição do teor de umidade é muito acentuada, fazendo com que, em regiões mais secas, o fluxo seja facilitado somente quando houver um aumento da umidade com a infiltração.

2.3 - CLIMA, RELEVO E SOLO

Ao longo do tempo geológico, a evolução dos solos relaciona-se com as características climáticas do relevo, do substrato rochoso e da vegetação. As diferenças entre as condições naturais, como quantidade e intensidade das chuvas, radiação solar, temperatura, umidade, altitude, declividade e exposição da superfície do terreno, além da cobertura vegetal, influenciam o desenvolvimento de um perfil de solo e, conseqüentemente, as suas propriedades químico-mineralógicas, físicas e estruturais. Sobre essas condições naturais ocorrem, em um tempo histórico, alterações físico-estruturais oriundas da ocupação e uso do solo.

Lima (2003), ao estudar ravinas e voçorocas do Distrito Federal, mostrou que esse processo de alteração do solo pode ocorrer em curto espaço de tempo, gerando riscos geotécnicos. Desse modo, torna-se relevante considerar as características da paisagem e sua transformação antrópica na evolução e no comportamento dos solos tropicais não saturados, principalmente quando se consideram os fluxos a partir do ganho e da perda de temperatura e umidade. Nesse

contexto, destaca-se a importância de considerar a exposição e a orientação das vertentes e as características climáticas que comandam a oferta e a demanda de umidade na interface solo-atmosfera.

Ressalta-se, ainda, a importância da análise integrada das propriedades químico-mineralógicas e estruturais de um solo associado ao fator relevo, considerando a altitude, a exposição e a orientação das vertentes, as características dos elementos e alguns fatores condicionantes do clima, como radiação solar, temperatura e umidade do ar, precipitação e direção dos ventos. O excesso de impermeabilização interfere na alteração da troca solo-atmosfera em meio urbano. Em meio rural, é pertinente citar como elementos de interferência na interação solo-atmosfera e na própria transformação do solo a substituição da cobertura vegetal e a própria adição de insumos e defensivos agrícolas. O exposto é confirmado nos trabalhos de Faria (2000), Santos Neto et al. (2002), Terefe et al. (2008), Bonder & Miguel (2007), os quais discorrem sobre a relação entre clima e solo. Estudos realizados por Mello et al. (2005), Sitorli et al. (2008), Souza et al. (2006) e Siqueira et al. (2008) apresentam a relação entre solo e relevo, as quais são descritas a seguir.

2.3.1 - CLIMA, PROCESSOS ATUANTES E PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO

Os trabalhos realizados na interface clima e solos têm buscado entender os processos atuantes na alteração do solo a partir do comportamento climático e analisar a relação desses processos com a porosidade e a densidade do solo. Tais trabalhos analisam, ainda, a influência da temperatura nas propriedades físicas e químicas, o clima e sua relação com os processos erosivos e a sucção mátrica em relação à sazonalidade climática.

Ao abordar o comportamento dos solos em função do clima, Faria (2000) adotou o termo densificação do solo como referência genérica e sintética para o resultado final do processo de redução da porosidade. Por meio de modelagem, foram analisados ciclos sucessivos de umedecimento e secagem (CSUS), a influência do clima, da variação da precipitação e da evapotranspiração, da cobertura vegetal, da ação antrópica e das características de dois Latossolos Roxos localizados em Patos de Minas e Capinópolis, em Minas Gerais. O autor concluiu que, se um mesmo tipo de solo, sob a mesma cobertura vegetal, fosse submetido às mesmas condições meteorológicas das regiões de Patos de Minas e de Capinópolis, em

relação aos CSUS analisados, seria esperada maior densificação para as condições climáticas de Capinópolis e maior conservação das propriedades analisadas para as condições climáticas de Patos de Minas. As diferenças climáticas entre as localidades pesquisadas, dadas a partir da distribuição da precipitação, propiciou à região de Patos de Minas uma média maior nos estados úmidos e secos e menor oscilação na velocidade média de umedecimento e secagem.

Quanto à variação da temperatura no solo em período chuvoso e seco, Santos Neto et al. (2002) demonstraram que essa temperatura é altamente influenciada pelo estado de umidade e pela temperatura do ar. De acordo com os dados apresentados, a temperatura nas profundidades de 2 e 5 cm do solo apresentaram, ao longo do dia, valores significativos, principalmente quando se considerou o período seco, com temperaturas de 31,5°C às 9h e às 21h. Valores de temperatura mais elevada, em torno de 40°C, ocorreram às 15h. Os valores de temperatura no solo nas profundidades de 20, 30 e 50 cm, em ambos os períodos, seco e chuvoso, mostraram pequena amplitude térmica diária. O gradiente de temperatura do período chuvoso apresentou-se menor quando comparado ao período seco.

Bonder & Miguel (2007) analisaram a relação da sazonalidade climática com a sucção matricial do solo. Realizaram estudos de monitoramento da sucção em uma argila-siltosa, de origem coluvionar e colapsível, entre março de 2006 e março de 2007, no Campo Experimental de Mecânica dos Solos e Fundações da Unicamp em Campinas-SP. A estrutura porosa da referida argila foi descrita a partir de análise de lâminas delgadas. Foram utilizados cinco tensiômetros convencionais, dois a 0,6 m de profundidade, dois a 1,2 m e um a 2,0 m, instalados em uma trincheira. As medidas de sucção obtidas foram correlacionadas com as informações da variação da pluviometria e da umidade ao longo do ano, sazonalmente.

Os referidos autores apontaram para a não relação entre a umidade relativa do ar e os valores de sucção matricial no perfil. Relataram, ainda, que os tensiômetros instalados respondiam aos eventos pluviométricos depois de um ou dois dias da ocorrência do episódio. Segundo os autores, pela medida da sucção em campo foi possível compreender melhor o processo de fluxo de água, ou seja, a infiltração e a variação do perfil de sucção. Os autores ressaltaram que, nas profundidades de 1,2 m, o fenômeno histerese apresentado pelas amostras foi mais expressivo do que nas profundidades de 0,6 m. A justificativa, segundo eles, foi a observação, na profundidade de 1,2 m, de poros com maior dimensão em relação às amostras obtidas na profundidade 0,6 m.

2.3.2 - RELAÇÃO ENTRE A MORFOLOGIA DA SUPERFÍCIE E AS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO

O relevo exerce forte influência na evolução e no desenvolvimento dos solos. O relevo local, por meio dos atributos declividade, orientação e exposição das encostas e altitude, tem influência marcante nas condições hídricas e térmicas ao longo de um perfil de solo. Segundo Palmieri & Larach (1996), tais influências refletem na configuração dos microclimas com esse perfil e, por consequência, nas propriedades dos solos.

A distribuição dos solos na paisagem reflete a influência dos vários fatores de formação, os quais estão relacionados às combinações que envolvem condições microclimáticas, como pedogênese, relevo e processos geológicos superficiais (Birkeland, 1984). As formas do relevo, por exercerem influência no fluxo da água, na energia e nos processos de redistribuição de material nas vertentes, controlam essa distribuição.

Considerando essa perspectiva, Brito et al. (2006) estudaram a influência das formas do relevo sobre os atributos físicos de um Latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. Os autores verificaram que a mineralogia mais gibbsítica e o maior teor de matéria orgânica foram encontrados na forma de relevo côncava e de segmento ombro, enquanto a mineralogia mais caulínica foi encontrada nos demais segmentos da forma linear. Relacionaram os menores valores de densidade e resistência do solo à penetração e de microporosidade, e os maiores valores de macroporosidade e de porosidade total às formas côncava e de segmento ombro. A forma indicada pelos autores como segmento ombro indica o local na superfície do terreno em que há mudança de declividade, isto é, passagem de superfície plana para superfície inclinada.

Mello et al. (2005) avaliaram as propriedades químicas e físicas de solos na região de Santa Maria-RS, em superfícies voltadas para o Norte e para o Sul, de forma a determinar o efeito da exposição do terreno na formação do solo. O estudo apontou que, em relação às diferenças nas propriedades químicas, as amostras da face exposta para o norte apresentaram maiores valores em relação às amostras que estavam na face voltada para o sul. Além disso, os autores constataram que a estabilidade dos agregados foi significativamente maior na face voltada para o norte.

Siqueira et al. (2008) analisaram, em diferentes períodos do ano do ano de 2005, a variação espacial do armazenamento e da perda diária de água por um solo Latossolo Vermelho em

Campinas-SP. Relacionaram a variação com a precipitação, a radiação solar, a temperatura e a direção dos ventos na camada de 0,0-0,1m, em superfícies com declividade de 6,5%. Na análise, o armazenamento de água no solo e a perda média de água pelo solo apresentaram padrão similar na variabilidade espacial. Os autores afirmaram que a face norte do terreno apresentou os menores valores de armazenamento de água no solo. Mesmo obtendo a relação da variação da umidade com a temperatura máxima do ar e a radiação solar, Siqueira et al. (2008) declararam que não foi possível determinar a magnitude da interferência dos elementos meteorológicos sobre o armazenamento de água no solo para o período estudado.

Sitorli et al. (2008), ao estudarem a relação entre os atributos do relevo e a espacialização dos solos, observaram que a orientação das vertentes e a radiação solar não desempenham papel relevante na diferenciação das unidades mapeadas de solos. Entretanto, as vertentes com exposição para o sul apresentam solos com matriz mais amarelada do que aquelas voltadas para leste e norte. Dentre os atributos, a declividade e a elevação apresentaram melhores relações com as unidades de solos.

Com o objetivo de aperfeiçoar o esquema de amostragem das propriedades físicas e químicas do solo, Souza et al. (2006) utilizaram a forma da paisagem como critério para auxiliar na caracterização espacial dessas propriedades. Verificaram que a pedofoma côncava e convexa apresenta maior variabilidade espacial para os atributos químicos e físicos do solo, quando comparada com a pedofoma linear.

Ao se considerar a estreita relação das propriedades físicas, químico-mineralógicas e estruturais com a variação da condição de estado do solo (poropressão, umidade e índice de vazios), é importante observar as leis que regem a dinâmica da paisagem. A dinâmica climática local é uma importante característica a ser considerada a partir da oferta de precipitação, da variação da temperatura, da umidade relativa do ar, da direção dos ventos e da radiação solar. Por outro lado, as características da morfologia da superfície, por meio dos atributos do relevo como altitude, forma e orientação, influenciam a umidade e temperatura do solo e as condições de fluxo superficial e em profundidade.

Assim, as características climáticas locais, associadas à morfologia da superfície, contribuem para a formação de unidades microclimáticas, as quais influenciam diferentemente nos processos atuantes no solo, tanto em relação àquelas relacionadas à formação do solo quanto aquelas relacionadas ao comportamento hidromecânico mediante variação da umidade.

3 - TÉCNICAS, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta as técnicas para a obtenção da variabilidade e tendência temporal de atributos atmosféricos e variações temporal e espacial da dinâmica térmica de superfície do terreno, para a cidade de Goiânia. Apresenta também os materiais e as metodologias, bem como os procedimentos de laboratório e de campo na caracterização física, química e mineralógica do perfil de solo.

3.1 - DOCUMENTAÇÃO CARTOGRÁFICA

A análise cartográfica abordou elementos do meio físico, como geologia, geomorfologia, solos e uso e cobertura do solo. Essas informações foram obtidas a partir da documentação existente e de mapas temáticos gerados nesta pesquisa, utilizando-se base cartográfica digital do Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG – versão 21), disponibilizada pela Companhia de Processamento de Dados do Município de Goiânia (COMDATA, 2006), que inclui dados altimétricos. Esses dados foram obtidos no Modelo de Elevação do Terreno (MDE), com resolução espacial de 5 m. Foi utilizado também um mosaico de Ortofotos de 2006, com resolução espacial de 60 cm, ambos, MDE e mosaico, elaborados pela empresa TopoCarta (2006), por solicitação da COMDATA (2006). Esse conjunto de informações espacializadas foi relevante tanto para subsidiar a escolha dos pontos, onde foram realizadas a coleta de amostras e os ensaios *in situ*, quanto para proceder análises integradas do meio físico.

A elaboração da documentação cartográfica contemplou dois momentos distintos. No primeiro momento, foram compiladas e geradas informações do Município de Goiânia, de forma a subsidiar as atividades de investigação de campo para a escolha dos pontos de estudo. Inicialmente foi realizado um levantamento sobre o ambiente físico, organizado num banco de dados georreferenciados. Estes incluíram altimetria, geologia, geomorfologia, tipos de solos e uso e cobertura do solo. As informações geológicas e de tipos de solos foram obtidas de Campos et al. (2003), e aquelas referentes à geomorfologia partiram do trabalho realizado por Casseti (1992), em escalas originais de 1:50.000 e 1:40.000, respectivamente. Quanto aos dados altimétricos, o MDE foi importado para o *software* SPRING versão 5.0.6 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no qual se elaboraram os mapas de declividades e de

orientação das vertentes, com resolução de 10 m.

Para a elaboração do mapa de uso e cobertura do solo, foram utilizadas imagens de satélite Landsat 5-TM, de 12 de julho de 2010, órbita 222, pontos 071 e 072, composição colorida RGB/5,4,3, do INPE, georreferenciadas com base nas imagens GEOCOVER. Após o georreferenciamento, essas imagens foram transferidas no formato GEOTIFF para o ambiente SPRING 5.1.6., onde, após realce e identificação das classes pretendidas, procedeu-se a classificação supervisionada, utilizando o algoritmo da máxima verossimilhança (maxver), com limiar de aceitação de 99,9 %. Esse método pressupõe que se conheça a área de estudo, pois deve selecionar as classes a serem mapeadas (Almeida et al., 2011).

No segundo momento da elaboração cartográfica, a partir dos locais selecionados, foi feita a delimitação onde estavam inseridos os pontos de estudos, considerando a menor área de contribuição. Isso permitiu a delimitação das bacias hidrográficas, segundo classificação de Sthahler (1957), como sendo canais de primeira ordem, exceto para o Poço 3, que é de segunda ordem. A base digital foi processada com o uso do aplicativo do *software ArcGis* versão 9.3/ESRI e contemplou a elaboração dos modelos hipsométricos, de declividades, de orientações das vertentes, de comprimentos do fluxo e de curvaturas do terreno. A resolução utilizada na elaboração dos referidos modelos foi de 5 m, exceto para a curvatura do terreno, que foi de 10 m. Para todos os modelos, as classes foram divididas pela função estatística de quebra natural, que possibilitou compartimentação que levasse em conta as discontinuidades das formas de relevo.

3.2 - VARIAÇÃO TEMPORAL, POSSÍVEIS TENDÊNCIAS DOS ATRIBUTOS ATMOSFÉRICOS E DINÂMICA TÉRMICA DE SUPERFÍCIES DO TERRENO NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO

O solo apresenta relação estreita com as características climáticas de determinada localidade. Para considerar essa perspectiva, este estudo contemplou o clima a partir de duas escalas de análises. A primeira escala, a regional, explica as variações anuais e sazonais dos atributos atmosféricos a partir da dinâmica regional da atmosfera associados aos fatores físico-geográficos, de acordo com Nimer (1989) e Monteiro (1969). Para essa escala de análise, o estudo contempla uma análise dos atributos atmosféricos da cidade de Goiânia, quanto à variabilidade e tendência temporal da precipitação acumulada em 24h, temperatura média do

ar (máxima e mínima) e umidade relativa média do ar, considerando a série histórica de 1961 a 2008.

A segunda escala de análise, a local, permite a integração dos fatores topoclimáticos segundo Geiger (1990), os quais justificam o comportamento microclimático de lugares específicos do terreno. Dentre esses fatores, radiação solar, orientação da vertente, declividade, ventos e uso e ocupação do solo constituem fatores do clima que alteram o fluxo radioativo da superfície, influenciando, nessa escala de análise, a variação temporal e espacial da temperatura de superfície do terreno. Segundo Immamura-Bornstein (1991), há uma elevada correlação entre temperatura da superfície e a temperatura do ar a 1,5 m acima do solo. Esse aspecto justifica a relevância de mensurar a temperatura da superfície no entendimento dos processos que interferem o comportamento dos solos, considerando a interface superfície do terreno e atmosfera.

3.2.1 - VARIAÇÕES INTERANUAL E SAZONAL E POSSÍVEIS TENDÊNCIAS DOS ATRIBUTOS ATMOSFÉRICOS: PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

A análise acerca das variações e das possíveis tendências dos elementos do clima como precipitação, temperatura e umidade relativa do ar foi obtida a partir de tratamento estatístico descritivo e aplicação de testes de hipóteses. Foram utilizados dados da Estação Climatológica principal de Goiânia, vinculada à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 10º Distrito de Meteorologia Goiás, Tocantins (10º DISME), situada em 16°40'S e 49°15'W e em 741,48 m de altitude, relativos ao período de 1961 a 2008.

As séries temporais foram organizadas em planilha eletrônica. Preliminarmente, todos os dados foram analisados para verificar as lacunas existentes quanto à falta de informação. Para a série precipitação, foram constatadas ausências de informações para os anos de 1979 e 1981 que foram preenchidas utilizando os dados da estação meteorológica mais próxima possível, nunca ultrapassando a quadrícula de um grau, conforme sugere Boin (2000).

Os dados para o preenchimento das lacunas na série precipitação foram obtidos junto à Estação Meteorológica da Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás (UFG), situada na coordenada 16°41' S e 49°17' W e altitude 741,0 m. Essa técnica consiste em utilizar dados de estações próximas, com características de localização, como altitude e coordenadas, o mais próximo possível. Dessa forma, há grande possibilidade

de que o comportamento pluviométrico seja semelhante entre os dois pontos.

Para os atributos temperatura e umidade relativa do ar foram desconsiderados os períodos que apresentaram falhas. Estas foram observadas para os anos de 1979, 1981, 1994 e 1995 referente à temperatura do ar e para os anos de 1979 e 1981 para a umidade relativa do ar, porque os atributos temperatura e umidade relativa do ar estão estreitamente relacionados ao uso e cobertura do solo, atributos mais influenciados, portanto, pelas características locais.

Especificamente para o parâmetro temperatura mínima do ar foram desconsiderados os anos entre 1990 a 1994, pois apresentaram picos negativos expressivos. Foram realizados levantamentos em outras estações meteorológicas a fim de validar o comportamento da temperatura mínima; entretanto, não foi constatado pico negativo para os referidos anos. Assim, foram excluídos os dados dos respectivos anos das análises estatísticas, tanto a descritiva quanto dos testes de tendência. A análise da variabilidade foi realizada a partir dos dados diários da precipitação acumulada em 24 horas, da temperatura média compensada anual, das temperaturas médias máxima ($T_{máx}$), da temperatura média mínima ($T_{mín}$) e da umidade relativa média do ar.

A análise da série precipitação foi realizada de forma a identificar o comportamento quanto a variabilidade anual, interanual e sazonal, conforme sugestão de Xavier et al. (1996, 1994) e Meis et al. (1981). Segundo Meis et al. (1981), existem diferentes formas de analisar a série temporal da precipitação, desde o reconhecimento geral aos padrões habituais e extremos. Xavier et al. (1996, 1994) apontam para a dificuldade de detectar mudanças na pluviometria analisando apenas a variação da altura (h) da pluviometria anual e mensal. Mencionam a necessidade de discriminar as ocorrências das intensidades mínimas e máximas e, assim, sugerem análise do número de dias sem ocorrência de precipitação, do número de dias com precipitação dentro de uma altura (h) predeterminada e do número de dias com precipitação maior ou igual a um limiar (h) fixado.

Assim, contemplando uma fase inicial para o entendimento do comportamento e da variabilidade dos atributos precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, foi realizado um tratamento estatístico a partir do *software Excel*, versão 2007. Para a série temporal da precipitação foram obtidas:

- a média para a série temporal;

- a variabilidade anual – média mensal dos eventos pluviométricos; número médio de dias com precipitação no mês; número de episódios com eventos acima de 40 mm acumulados em 24 horas; frequência das precipitações acumuladas em 24 horas entre 0,1 e 150 mm, considerando classes em intervalos de 25 mm;
- a variabilidade interanual e sazonal a partir do desvio padrão.

Quanto à série da temperatura do ar, foram obtidas:

- a média para a série temporal;
- a variação anual para a temperatura média – máxima, mínima e compensada;
- a variabilidade interanual e sazonal a partir do desvio padrão da temperatura média máxima e mínima.

Quanto à série temporal da umidade relativa média do ar, foram obtidos:

- a média para a série temporal;
- o comportamento da umidade relativa do ar média anual;
- o comportamento da umidade relativa do ar por período sazonal.

No segundo momento, o tratamento estatístico foi direcionado à aplicação de testes de hipóteses, a partir da análise de Regressão Linear Simples; da Técnica dos Quantis, segundo Xavier & Xavier (1984); dos testes não paramétricos de Mann-Kendall, de acordo com Back (2001), e Mann-Kendall Sazonal, de acordo com Hirsch et al. (1982).

O teste de hipótese a partir da Técnica dos Quantis permite identificar os anos extremos e os anos habituais. A escolha de anos-padrão representa, conforme Monteiro (1971), diferentes graus de proximidade do ritmo “habitual” ao lado daqueles anos afetados por irregularidades na circulação atmosférica de modo a promover acidentes e impactos nas atividades humanas e no meio físico.

Para identificar e delimitar os anos-padrão, foi aplicada a Técnica dos Quantis, de acordo com a proposta de Pinkayan (1966) citado por Xavier & Xavier (1984) e sistematizada por Xavier & Xavier (1999), Xavier (2001) e Xavier et al. (2002). Conforme a Equação 3.1, foram utilizadas as ordens quartílicas em que $p=0,15$; $p=0,35$; $p=0,50$; $p=0,65$ e $p=0,85$. As

quartílicas permitem identificar e delimitar categorias do evento em análise, conforme a classificação a seguir.

$$Q(P) = Y_i + \left[\frac{P - P_i}{P_{i+1} - P_i} \right] \times [Y_{i+1} - Y_i] \quad (3.1)$$

em que:

$Q(P)$ = Quantil (0,25;;) que corresponde à ordem quartílica P;

i = número de ordem crescente para cada valor;

y = valor correspondente a cada número de ordem i ;

$P_i = i/(N+1)$, quando N é o número de elementos da série.

A partir da precipitação acumulada, foi aplicada a Técnica dos Quantis na identificação dos anos-padrão. Foram definidas cinco classes, sendo o ano considerado: Muito seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (C) e Muito chuvoso (MC) (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Classes dos intervalos dos anos-padrão (Xavier & Xavier, 1999).

15%	35%	50%	65%	85%
< -----	< ----- >	< ----- >	< ----- >	----- >
Muito Seco (MS)	Seco (S)	Normal (N)	Chuvoso (C)	Muito Chuvoso (MC)

Para testar a tendência das variáveis meteorológicas, foram utilizados dois métodos: o teste de Análise de Regressão Linear e o teste de Mann-Kendall. O teste de Regressão foi aplicado para indicar alterações climáticas por meio da significância do coeficiente angular de uma reta ajustada às informações. O objetivo do teste é determinar o intervalo de confiança do coeficiente angular, sendo este considerado de confiança quando for superior a 50%.

Conforme Back (2001), Marengo & Alves (2005), Blain (2009), Krishnakumar & Gopakumar (2009) e Rodrigues et al. (2010), o método não paramétrico de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Mann (1945) e Kendall (1975), tem sido muito utilizado na análise de tendência da variabilidade de séries temporais meteorológicas. Entretanto, quando os dados da amostra são serialmente correlacionados, é afetada a capacidade do teste de Mann-Kendall de avaliar corretamente o significado da tendência, o que aumenta a probabilidade de detectar tendências quando, na verdade, não existem ou vice-versa, conforme explicitam Blain (2010) e Hamed & Rao (1998).

Nesta pesquisa, foi verificada a possibilidade de presença de correlação serial para as séries da precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, a partir da função de autocorrelação do *Software Statistical R*, de acordo com Morettini & Tolói (2006). Para a série temporal da precipitação (anual e sazonal), a função de autocorrelação não indicou correlação, o que validou a aplicação do teste não paramétrico de Mann-Kendall, conforme propõe Back (2001). Por outro lado, para as séries temporais da temperatura e umidade relativa do ar, o teste de autocorrelação aponta para correlação serial positiva, conforme proposta de Hirsch et al. (1982), indicando a possibilidade de aplicar o teste Mann-Kendall Sazonal (SMK).

O teste Mann-Kendall considera que, na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma, conforme afirmam Rodrigues & Santos (2007), em que todos os dados têm a mesma possibilidade de serem escolhidos na amostra. O teste de Mann-Kendall compara cada valor em ordem sequencial de uma série temporal, $X_t = [X_1, X_2, X_i, X_j, X_l, \dots, X_n]$, de acordo com Back (2001), Blain (2010) e Silva et al. (2010).

Nesta pesquisa, foram realizadas análises das tendências do comportamento da série temporal da precipitação acumulada interanual e sazonal, utilizando *software Excel*, versão 2007. Foram adotados 5% de nível de significância, conforme indica Back (2001). O teste foi aplicado de forma que, para H_0 , não há evidência de tendência nos dados e, para H_1 , a hipótese alternativa é que há tendência positiva ou negativa nos dados. É rejeitado H_0 quando o valor de $u(t)$ estiver fora do intervalo de -1,96 e +1,96. Quando o teste de Mann-Kendall indicar valor $< -1,96$, a hipótese é que a tendência na série em análise é negativa. Caso seja maior que 1,96, o teste indica que a série apresenta tendência positiva de aumento dos valores. A Tabela 3.2 apresenta a legenda dos intervalos apresentados nesse teste de tendência.

O teste não paramétrico de Mann-Kendall Sazonal (SMK) foi aplicado a partir do *software Statistical R*, conforme Hipel & McLeod, (2005) e Hirsch et al. (1982), às séries temporais temperatura do ar (máxima e mínima) e umidade relativa do ar. Para ambos os atributos foram contempladas as séries interanual e sazonal. O teste SMK é uma variação do teste de MK tradicional que incorpora o efeito de autocorrelação na estatística do teste. Mais detalhes podem ser vistos nos trabalhos de Hipel & McLeod (2005), Hirsch et al. (1982) e Hamed & Rao (1997). Devido à maneira como é executado o teste no *software Statistical R*, foi utilizado o p_{valor} resultante do teste para decidir em favor de H_0 ou H_1 . O p_{valor} é uma métrica

que descreve a probabilidade de ser encontrado um valor mais extremo que o observado na amostra. Quando são encontrados valores muito pequenos do p_{valor} indica evidência em favor de H_1 , ou seja, há alguma tendência.

Tabela 3.2 – Legenda do teste de Mann-Kendall (modificado de Fechine & Galvêncio, 2010).

Significância	U(t)	Tendência $\alpha = 5\%$
Sem tendência	0	Tns
Tendência significância de aumento	$X > + 1,96$	Tsa
Tendência significância de diminuição	$X < - 1,96$	Tsd
Tendência não significância	$- 1,96 < X < 1,96$	Tns

3.2.2 - VARIACÃO TEMPORAL E ESPACIAL DA DINÂMICA TÉRMICA DE SUPERFÍCIES DO TERRENO EM GOIÂNIA-GO: INVERNO/2010

A variação temporal e espacial da temperatura de superfície foi obtida a partir da banda 6 do sensor TM do Landsat 5, que corresponde à faixa espectral do infravermelho termal (10,4 a 12,5 μm), com resolução espacial de 120 m. Sua principal característica é a sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais da superfície terrestre, conforme coloca o Departamento de sensoriamento Remoto/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSR/INPE, 2003).

A partir da imagem termal da banda 6 do Landsat 5 obtida junto ao INPE e com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, foram detectadas a modificação do balanço de energia e a variação temporal e espacial do campo térmico da superfície do terreno na região de Goiânia, referentes aos dias 12/07/2010 e 29/08/2010. A temperatura aparente da superfície do terreno foi analisada a partir do processamento das imagens, nos *softwares* IDRISI 16.0 Taiga 2009 e ArcGis 9.3 / ESRI. Os procedimentos consistiram em transferência das imagens no formato TIFF para o módulo *Thermal* do ambiente do IDRISI, em que foi possível a conversão dos níveis de cinza da imagem para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$). Após esse procedimento, as imagens convertidas foram salvas no formato GEOTIFF e transferidas para o ambiente do *software* ArcGis, com a obtenção do intervalo das classes, pela função estatística de quebra natural. A partir dos produtos da dinâmica térmica de superfície do terreno e da utilização do aplicativo do *software* ArcGis, versão 9.3/ESRI, foram realizados cruzamentos das informações da

temperatura aparente da superfície com as informações de uso e cobertura do solo e orientação das vertentes.

Considerando as emissividades indicadas por Silva & Santos (2007) para a cobertura vegetal, variando entre 0,98 e 0,95, para o solo, entre 0,99 e 0,97, e para as pastagens, por Lopes et al. (2007), entre 0,95 e 0,97, não foi atribuído fator de correção aos efeitos da emissividade das superfícies à obtenção da temperatura do terreno. Pelo fato de não ser considerado o efeito da emissividade das superfícies, os produtos cartográficos resultantes do tratamento das imagens termais foram considerados, neste estudo, como referentes à temperatura aparente da superfície, conforme sugestão de Sobrino et al. (1993) e Tarifa & Armani (2000).

Conforme Mendonça & Danni-Oliveira (2007), a declividade do terreno apresenta estreita relação na temperatura da superfície, indicando que quanto maior a declividade, maior a temperatura. Nesse sentido, devido à localização periférica dos locais estudados e ao predomínio de formas de relevo suaves a suave-onduladas, não foram considerados os fatores que influenciam a exposição de superfícies, tais como sombras de edifícios e de vertentes íngremes.

3.3 - CAMPANHAS DE CAMPO

O entendimento a partir dos produtos cartográficos de paisagens representativas das áreas periféricas de Goiânia possibilitou uma pré-definição dos locais onde seriam realizados a coleta de amostras e os ensaios *in situ*. Em primeiro lugar, foram feitas visitas de campo, para a definição dos pontos a serem estudados. Posteriormente, foram realizadas as atividades, inicialmente em dez pontos e depois em onze, desde a coleta de amostras deformadas e indeformadas até a realização dos ensaios *in situ* em poços de diâmetro de 1,10 m, escavados manualmente a trado.

3.3.1 - DEFINIÇÃO DOS PONTOS

Os critérios para a seleção dos pontos de investigação contemplaram os aspectos geológicos, geomorfológicos, solos, orientação e exposição da vertente e uso e cobertura do solo. De forma a contemplar as duas unidades litológicas do Município de Goiânia, os Granulitos na região Norte e os Xitos e Micaxistos na região Sul, os pontos selecionados foram distribuídos nessas respectivas regiões. Os pontos foram alocados em declividades preferencialmente inferiores a 8%, em solos do tipo Latossolos Vermelho-Amarelo, e posicionados nas vertentes

em diferentes orientação e exposição. O padrão de uso e ocupação do solo, nesse nível de levantamento, foi realizado a partir das observações de campo. Com as visitas em campo, tentou-se percorrer principalmente os sentidos norte-sul e leste-oeste, para que as principais unidades geológicas, de solos e geomorfológicas fossem contempladas, com descrição detalhada das áreas de interesse.

Os pontos, identificados em campo com o uso do *Global Positioning System* (GPS) de navegação *Garmin etrex*, foram lançados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) por meio do *software* SPRING versão 5.0.6 (INPE,1996). Dos pontos pré-definidos, foram selecionados dez e, a partir desse momento, foram referidos como Poços 1, 2, 3 e assim sucessivamente. As características de localização em termos de coordenadas, altitude e ponto de referência estão listadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Pontos selecionados à execução do programa experimental da pesquisa: regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Poço	Coordenadas (UTM)		Elevação (m)	Ponto de referência
	X (m)	Y (m)		
1	687.328	8.167.760	795	Rodovia GO-080, sentido Nerópolis-Goiânia; área de pastagem.
2	686.801	8.162.704	754	Bairro Itatiaia, em frente à entrada do Campus II da Universidade Federal de Goiás (UFG); área de pastagem.
3	685.048	8.164.671	771	Bairro Alice Barbosa, loteamento recente, próximo ao Campus II da UFG; área de pastagem.
4	677.473	8.164.297	808	Bairro Jardim Curitiba, Parque Municipal de Conservação Jardim Curitiba
5	674.239	8.160.987	876	Residencial Solar Ville; área de pastagem
6	671.881	8.158.193	833	Rodovia GO-060, Rodovia dos Romeiros, sentido Goiânia/Trindade; cobertura natural do solo.
7	669.837	8.148.693	872	Rodovia BR-060, sentido Goiânia, área de pastagem.
7.1	668.881	8.149.141	889	Bordo direito da rodovia municipal que liga a BR-060 a GO-469; área de pastagem.
8	676.688	8.151.751	796	Área particular: Imobiliária Tenda; cobertura natural do solo.
9	688.938	8.152.632	825	Paço Municipal de Goiânia – proximidades da BR-153; cobertura natural do solo.
10	690.655	8.148.340	781	Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC - GO), Campus II; área de pastagem.

As características ambientais de cada poço, em termos de geologia, geomorfologia, tipo de solo e orientação das vertentes estão listadas na Tabela 3.4. A Figura 3.1 permite a visualização das bacias hidrográficas e a localização dos pontos selecionados para estudo. No decorrer da campanha de campo, mediante impedimentos à realização dos ensaios no local do Poço 7, um novo ponto foi acrescentado à pesquisa, o Poço 7.1.

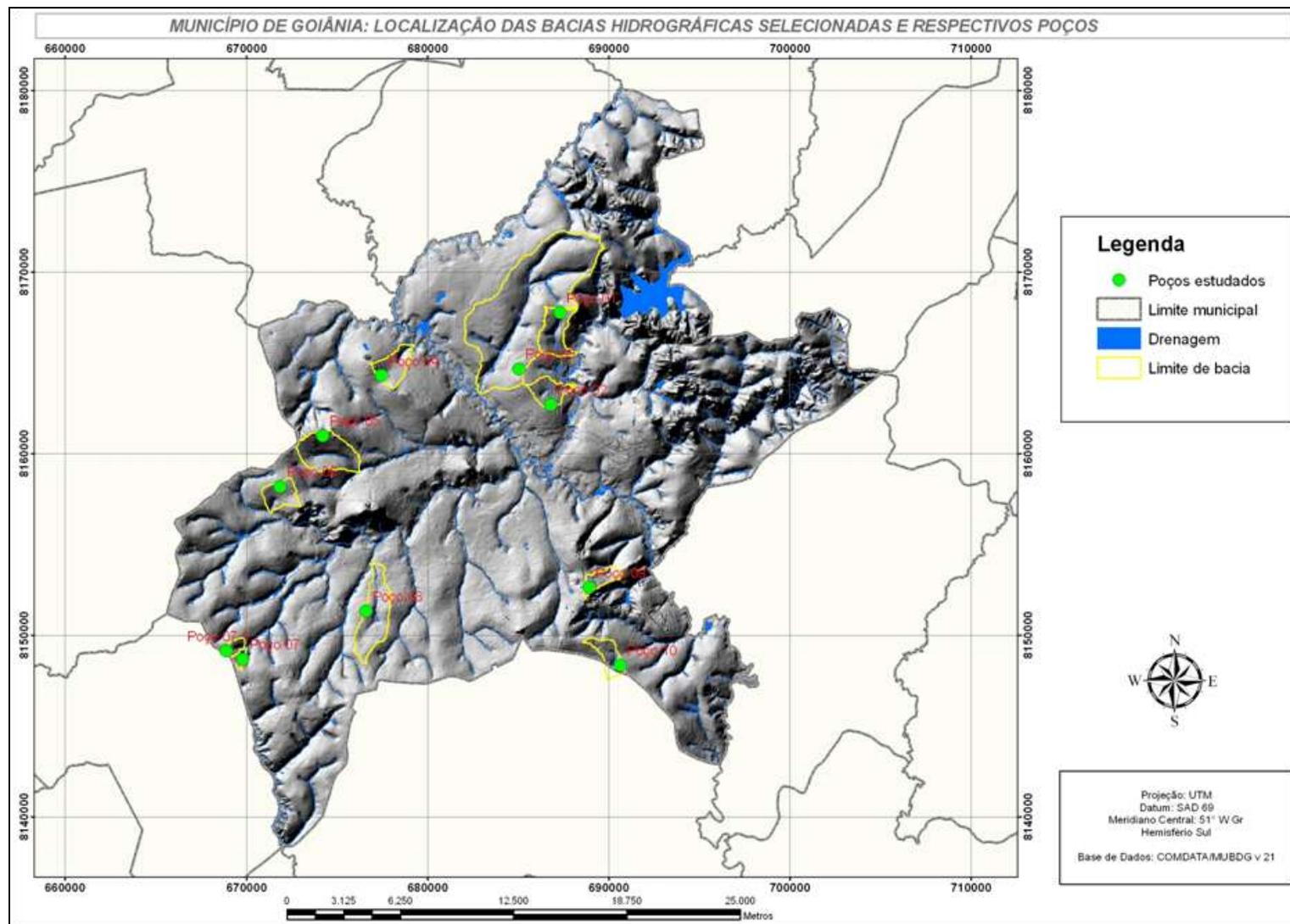


Figura 3.1 – Município de Goiânia-GO e a localização das bacias e dos poços.

É importante ressaltar que a opção pelo local desse ponto foi devida à disponibilidade dos resultados da caracterização geotécnica, química e mineralógica do perfil de solo realizado por Silva (2010).

Tabela 3.4 – Características ambientais dos poços.

Poço	Geologia	Solos	Geomorfologia	Morfologia		Vegetação (antecedente)	Uso e cobertura do solo
				Elevação (m)	Orientação		
1	Granulitos	LV	PEG_c1	795	SW	Floresta Estacional Semidecidual	Pastagem
2	Granulitos	LV	PEG_c1	754	NE	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Pastagem
3	Granulitos	LV	PEG_c1	771	NW	Floresta Estacional Semidecidual	Pastagem
4	Granulitos	LV	PEG_c2	808	E	Floresta Estacional Semidecidual	Área de Preservação (alterada)
5	Granulitos	LV	PEG_c2	876	SE	Cerrado <i>stricto sensu</i> e Cerradão	Pastagem
6	Granulitos	LV	PEG_c2	833	SW	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Gramínea "invasora"
7	Xistos	LVA	CG_R	872	N	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Pastagem/pomar
7.1	Xistos	LVA	CG_P	889	NE	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Pastagem
8	Xistos	LV	PEG_c1	796	NE	Cerradão	Gramínea "invasora"
9	Xistos	LV	PEG_c2	825	SE	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Área de Preservação (alterada)
10	Xistos	LV	PEG_c1	781	NW	Cerrado <i>stricto sensu</i>	Pastagem

As posições dos pontos escolhidas na vertente ficaram próximas a canais de drenagem de primeira ordem, exceto no caso do Poço 3 que é de segunda ordem, conforme classificação de Strahler (1957). A caracterização fisiográfica dos poços em análise é apresentada no Capítulo 4. Dos onze pontos selecionados, seis deles estão inseridos na região Norte e cinco na região Sul de Goiânia (Figura 3.1).

3.3.2 - COLETA DE AMOSTRA

Para cada local selecionado foi executado um poço com 1,1 m de diâmetro por 3 m de profundidade, exceto para o Poço 1, que atingiu a profundidade de 4 m. A Figura 3.2 (a) e (b) ilustra a execução dos Poços 10 e 4, respectivamente. Em todos os poços foram coletadas amostras deformadas a cada 0,50 m e bloco de amostras indeformadas a cada metro.



(a)



(b)

Figura 3.2 – Execução do poço: (a) Poço 10 na região sul e (b) Poço 4 na região norte de Goiânia-GO.

As amostras deformadas foram coletadas a cada 0,5 m de profundidade para determinação da umidade de campo e de metro em metro para ensaios de caracterização geotécnica e composição química e mineralógica do material. Os ensaios de caracterização geotécnica das amostras de cada metro consistiram das seguintes determinações: limites de consistência (w_L e w_P), identificação pelo método expedito da pastilha (MCT expedita), peso específico dos grãos (γ_s) e análises granulométricas. Os blocos de amostras indeformadas foram utilizados para obtenção do peso específico natural do solo (γ_n) e da curva característica do solo.

Foram coletados 93 blocos de amostras indeformadas confeccionados em três repetições para cada profundidade. Em função da elevada fragilidade do material e do número de amostras, foram adotadas dimensões menores do que as usuais. Nesta pesquisa, esses blocos apresentaram tamanhos aproximados de 0,2 x 0,2 x 0,2 m. A Figura 3.3 (a), (b) e (c) ilustra os blocos de amostras indeformadas.

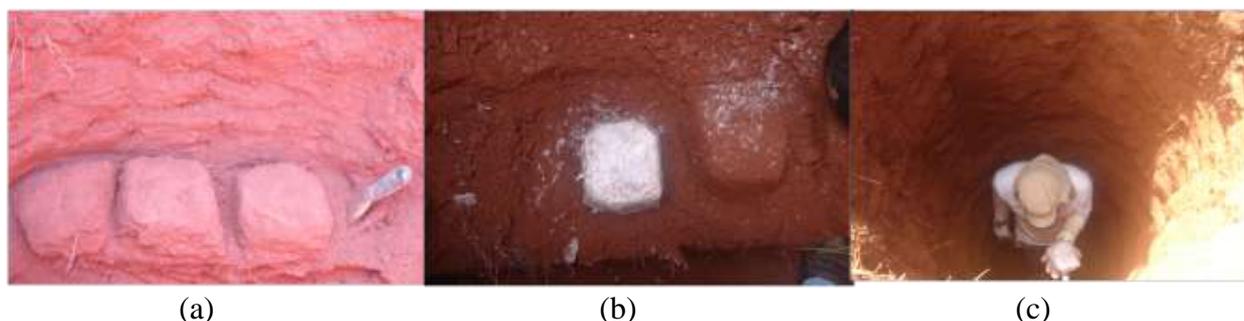


Figura 3.3 – Blocos de amostras indeformadas coletados nos poços: (a) meia cava na base da profundidade 1 m e a moldagem dos blocos – Poço 10 na região sul; (b) bloco posicionado na meia cava e parafinado em 2 m – Poço 3 na região norte; (c) bloco parafinado na profundidade de 3 m – Poço 2 e na região sul de Goiânia-GO.

Especificamente nos Poços 3, 5 e 7, não foi possível obter blocos de amostras indeformadas para as profundidades de 2, 3 e 2 m respectivamente, devido à presença de fragmentos de rocha, conforme pode ser observado na Figura 3.4 (a), (b) e (c).

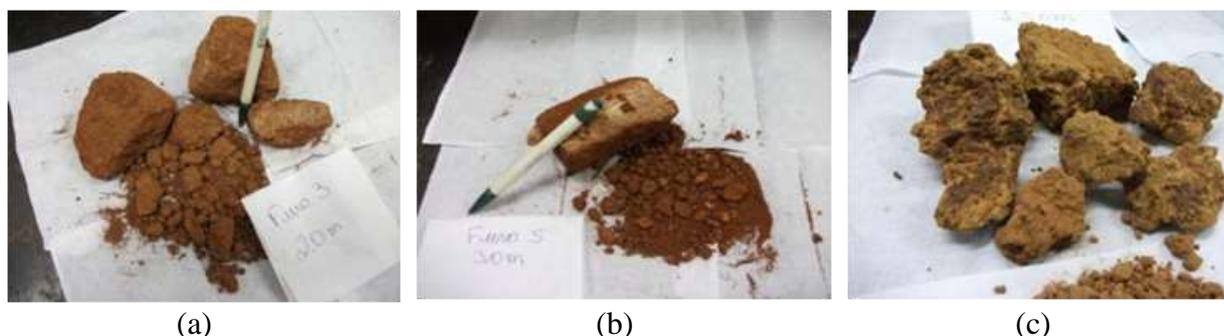


Figura 3.4 – Material coletado: (a) Poço 3 profundidade 2 m; (b) Poço 5 profundidade 3 m na região norte; (c) Poço 7 profundidade 2 m na região sul de Goiânia-GO.

A partir da Equação 3.2, foi obtido o peso específico natural do solo (γ_n), considerando para tanto a relação massa e volume do material coletado. Assim, dentro dos poços, foi feita uma meia cava e procedeu-se à retirada do material, conforme Figura 3.5 (a), (b) e (c). A partir das dimensões representativas da amostra coletada (comprimento, largura e altura), foi calculado o peso específico natural do solo (γ_n). As amostras foram pesadas e devidamente embaladas.

$$\gamma_n = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \quad (3.2)$$

em que:

Massa = peso da amostra na condição de campo;

Volume = obtido a partir das dimensões da amostra coletada.

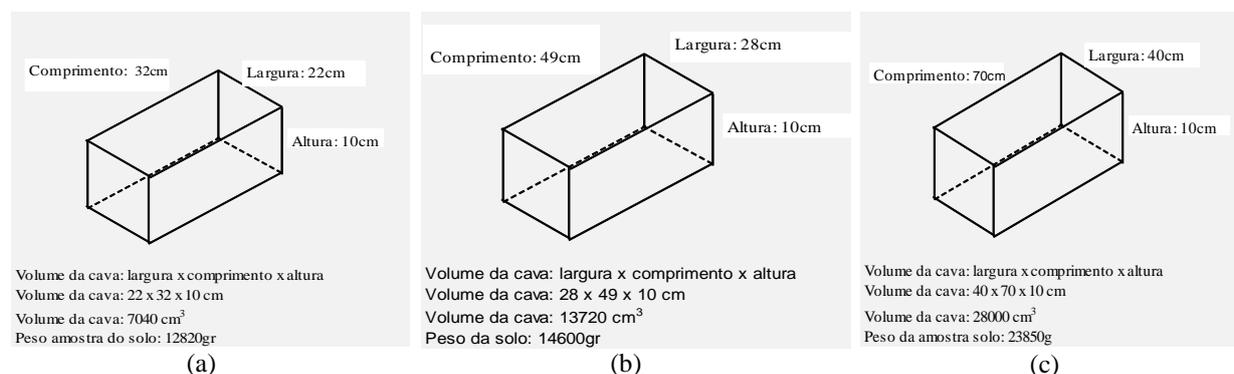


Figura 3.5 – Dimensões da cava representativa do material coletado em perfil de solo: (a) Poço 3; (b) Poço 5 na região norte; (c) Poço 7 na região sul de Goiânia-GO.

3.3.2.1 - ENSAIOS *IN SITU*

As atividades desenvolvidas em campo foram realizadas em quatro etapas, conforme apresentadas na Tabela 3.5, ao longo do ano de 2010 para todos os pontos selecionados, exceto para o Poço 7, onde apenas a primeira etapa foi executada. As atividades contemplaram, simultaneamente, ensaios de infiltração *in situ*; coleta de amostras para determinação da umidade de campo e do peso específico dos solos (γ_n), este a partir do método estimado não convencional na tentativa de obter a densidade do solo; determinação do peso específico do solo pelo método do frasco de areia; medidas da temperatura e umidade relativa do ar e temperatura do solo. A primeira etapa contemplou a execução dos poços e coleta de amostras deformadas e indeformadas. Na segunda e terceira etapas, os procedimentos estão descritos a seguir.

A partir da borda do poço principal foi adotada a distância de 1 m para execução de um poço a trado. A partir deste, tomou-se a distância de mais 1 m para execução de outro poço, ambos com diâmetro de 0,07 m. No primeiro poço a trado, o ensaio de infiltração por rebaixamento foi realizado à medida que se atingia a profundidade estabelecida, a saber: 0,5, 1, 2, 3 e até 4 m, quando possível. A taxa de infiltração de campo foi determinada a partir da proposta apresentada no Boletim nº 4 da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE, 1996). No segundo poço, foram coletadas amostras para estimativa de γ_n pelo método estimado não convencional a cada metro de profundidade e umidade de campo a cada 0,5 m.

Tabela 3.5 – Descrição das atividades executadas em campo.

Etapas	Estágio	Atividades de campo	Sazonalidade climática
1ª Etapa	04 a 28 jan/10	Execução dos poços; Coleta de amostras: deformadas e indeformadas; Determinação da umidade natural; Determinação γ_n pelo método da balança hidrostática.	Período chuvoso
2ª Etapa	16 a 20 abr/10	Determinação da umidade natural; Determinação de γ_n pelo método estimado; Ensaio: infiltração/rebaixamento; Medidas das temperaturas do ar e do solo e umidade relativa do ar.	Final do período chuvoso
3ª Etapa	19 a 23 jul/10	Determinação de γ_n pelo método estimado; Ensaio: infiltração/rebaixamento; Medidas das temperaturas do ar e do solo e umidade relativa do ar.	Período seco
4ª Etapa	23 ago/10 a 6 set/10	Determinação de γ_n pelos métodos estimado e do frasco de areia; Ensaio: infiltração/rebaixamento e infiltração/cilindro concêntrico; Medidas das temperaturas do ar e do solo e umidade relativa do ar.	Período seco

Os parâmetros da temperatura e da umidade relativa do ar foram obtidos a partir de um Termo-Higrômetro Digital, marca e modelo Incoterm 7429, posicionado a uma altura de 1,5 m de altura e em local sombreado, conforme prescrevem as normas da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). As medidas da temperatura do solo foram avaliadas na superfície do solo a partir do termômetro analógico, modelo Incoterm escala de 0,5°C. Nos ensaios realizados na segunda etapa, os procedimentos foram executados em uma das laterais do poço principal e, na terceira etapa, na outra lateral do poço, mas sempre obedecendo ao alinhamento e à distância com o poço principal. As atividades executadas na 4ª etapa

contemplaram procedimentos cujo objetivo principal era o de determinar a taxa de infiltração *in situ*. Para isso, a partir do poço principal foram executados de quatro a cinco poços, com profundidades de 0,5, 1, 2, 3 m e, em alguns casos, até a profundidade de 4 m. A distância entre os poços era de 2 m. Também nesta etapa foram coletadas amostras deformadas representativas do perfil a cada 0,5 m de profundidade. Em seguida, foram realizados:

- ensaios em poços individuais nas profundidades de 0,5, 1, 2, 3 e 4 m, conforme proposta apresentada no Boletim n° 4 ABGE (1996) para o ensaio de rebaixamento em poço;
- ensaios nas profundidades de 0,1, 0,2 e 0,3 m, utilizando o infiltrômetro de cilindro concêntrico, conforme procedimentos descritos por Oliveira & Silva (2005);
- determinação do peso específico dos solos (γ_n) *in situ*, com emprego do método do frasco de areia, conforme 7185 (ABNT-1986), ensaio executado nas profundidades 0,1, 0,2 e 0,3 m;
- medidas da temperatura e umidade relativa do ar a partir do Termo-higromêtro Digital Incoterm, modelo 7429;
- medidas da temperatura do solo, termômetro da marca Incoterm, escala de 0,5°C.

3.3.2.2 - ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Neste estudo, os ensaios de infiltração foram realizados com o objetivo de obter a taxa de infiltração de campo (I_{campo}), considerando, além das propriedades geotécnicas do perfil, os condicionantes locais do ambiente físico. Esses condicionantes são os atributos morfológicos e morfométricos do terreno, uso e cobertura do solo, e a variação da umidade do ar e do solo ao longo do ano.

No sentido de envolver distintas condições locais, os ensaios foram realizados acompanhando a sazonalidade da umidade do solo, contemplando os períodos úmidos, de transição e seco, do ano de 2010. Esse aspecto permitiu inferir a taxa de infiltração, considerando as condições na fronteira superfície-atmosfera. Os experimentos foram executados conforme procedimento recomendado no Boletim n°4 ABGE (1996), para o ensaio de rebaixamento em poço com carga variável.

O segundo objetivo foi obter as medidas de infiltração vertical da água no solo, considerando os níveis mais próximos à superfície, considerando para tanto as profundidades de 0,1, 0,2 e 0,3 m. Esse ensaio foi realizado em um período caracterizado por uma prolongada ausência de

eventos pluviométricos. Foi feito pelo método do infiltrômetro de cilindros concêntricos.

A - Ensaio por rebaixamento em poço

Os ensaios de infiltração por rebaixamento com carga variável foram realizados de acordo com a ABGE (1996). Foi possível obter a taxa de infiltração *in situ* ao longo do perfil, nas profundidades de 0,5, 1, 2, 3 e 4 m. Os poços foram executados com o trado manual de 0,07 m de diâmetro e hastes rosqueáveis de 1 m.

Conforme a Tabela 3.5, na segunda e terceira etapas os ensaios foram executados em um único poço. Para este ensaio, o procedimento foi iniciado com a execução do poço até a profundidade de 0,5 m. Após o término do ensaio nessa profundidade, a perfuração avançava até a profundidade de 1 m e assim sucessivamente até a profundidade 4 m, quando possível para perfuração a trado.

Para cada profundidade de realização do ensaio de infiltração, o poço foi abastecido com água continuamente, mantendo o nível d'água constante na superfície do terreno, por aproximadamente 10 minutos. Após esse tempo, o fornecimento d'água era interrompido e iniciado o processo de leitura, tomando o tempo zero com o nível d'água na superfície e o tempo final quando o nível d'água atingia uma altura pré-determinada, de 0,05 m. O ensaio era concluído no momento em que o tempo (Δt) do rebaixamento da coluna d'água dentro do furo era constante ou quando o ensaio atingisse duração de 30 minutos, conforme prescreve a norma. A Figura 3.6 (a), (b) e (c) ilustra, respectivamente, a execução do poço, o abastecimento e estabilização da água no furo e a leitura do nível d'água.

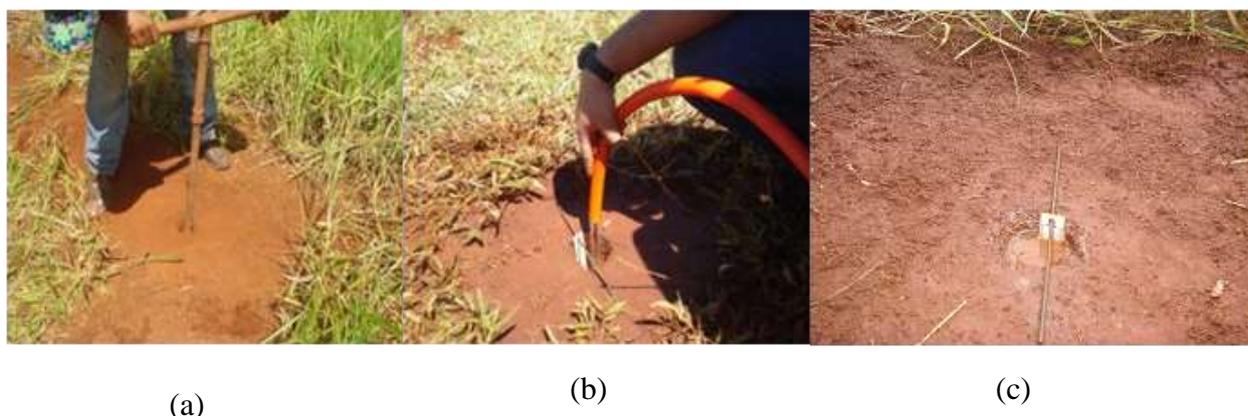


Figura 3.6 – Ensaio de infiltração por rebaixamento: (a) abertura do poço; (b) abastecimento do poço até o nível do terreno; (c) realização do ensaio.

Nos ensaios de infiltração executados na quarta etapa, os procedimentos consistiram na execução de furos com uma profundidade específica de 0,5, 1, 2, 3 e 4 m. Cada um foi ensaiado para a obtenção das taxas de infiltração. Nestes ensaios, não foi realizado o abastecimento prévio do poço com água por 10 minutos antes do início das leituras de infiltração, como descrito nas etapas anteriores. Para a obtenção da taxa de infiltração ao longo dos perfis dos poços executados a trado, para avaliar as taxas de infiltração de cada poço ensaiado, nos dois procedimentos, foram utilizadas as equações 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, descritas a seguir (ABGE, 1996).

Essa mudança nos procedimentos à execução dos ensaios de infiltração foi em função do período do ano. Os ensaios foram realizados no final do mês de agosto e início do mês de setembro, período de estiagem. O objetivo foi o de acompanhar o comportamento *in situ* dos perfis estudados quanto à infiltração.

A Equação 3.3 determina um valor médio entre a variação do nível d'água no poço entre o tempo inicial e final de leitura:

$$Z_{\text{médio}} = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \quad (3.3)$$

em que:

$Z_{\text{médio}}$ = variação da coluna d'água (m);

Z_1 = altura do nível d'água em $t = 0$ (m);

Z_2 = altura do nível d'água em $t = \text{final}$ (m).

A Equação 3.4 permite obter a área disponível para a infiltração entre o início e o final do teste:

$$A = 2\pi r(H - Z_{\text{médio}}) + \pi r^2 \quad (3.4)$$

em que:

A = área disponível de infiltração (m^2);

r = diâmetro do furo (m) para determinação da área do fundo poço;

H = profundidade do furo (m) para obtenção da área da parede vertical do poço.

A Equação 3.5 determinou a taxa de infiltração:

$$I = \frac{V}{Ax\Delta t} \quad (3.5)$$

em que:

I = taxa de infiltração ($m^3 m^2/s$);

V = volume infiltrado (m^3/s);

A = área disponível para a infiltração (m^2);

Δt = tempo acumulado na variação do nível d'água no poço.

A partir da Equação 3.6 foi obtida a permeabilidade da água no solo:

$$k = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times \left(\frac{r}{R}\right)^2 \quad (3.6)$$

em que:

k = permeabilidade do solo (cm/s);

Δh = variação do nível d'água no poço ($Z_2 - Z_1$) (m);

Δt = tempo acumulado para a medida da variação do nível d'água (s);

r = raio do poço (m);

R = raio de influência do escoamento d'água dentro do poço determinado para $t = 0$ pela equação $R = \sqrt{h - r}$ (ABGE, 1996).

A relação entre R e h é obtida presumindo que o escoamento ocorre segundo uma parábola cujo vértice está no centro, na altura do nível d'água inicial ($t=0$). A Figura 3.7 ilustra o ensaio por rebaixamento em poço onde tanto o lençol freático como a camada impermeável estão situados em profundidades inferiores à base do poço ensaiado, não interferindo no processo de infiltração.

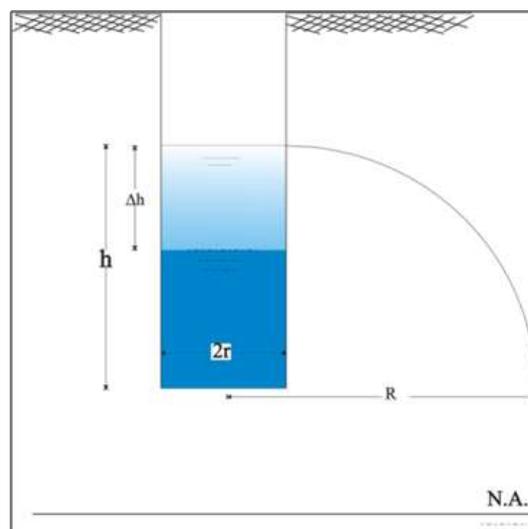


Figura 3.7 – Modelo do ensaio de rebaixamento em poço (Leão Carvalho, 2008).

B - Ensaio do infiltrômetro de cilindros concêntricos

O ensaio para a determinação da taxa de infiltração utilizando o infiltrômetro de cilindros concêntricos é indicado para estudos de infiltração superficial. A taxa de infiltração é dada quando o tempo de leitura é constante e sugere ser a menor taxa de infiltração do solo, conforme procedimentos descritos por Oliveira & Silva (2005). O instrumento utilizado consiste de dois tubos cilíndricos concêntricos, sendo um externo e outro interno, com diâmetros de 0,53 e 0,28 m, respectivamente. Como a função do anel externo é direcionar o fluxo vertical e reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada no anel interno, aquele é mantido constantemente com uma lâmina d'água. Assim, a água do anel infiltra no perfil do solo em uma direção vertical, conforme pode ser visto na Figura 3.8, o que evita a superestimativa da taxa de infiltração. Normalmente, a taxa de infiltração é considerada constante quando o valor da leitura da lâmina infiltrada na parte interna se repete pelo menos três vezes.

Neste estudo, a taxa de infiltração na superfície foi mensurada apenas na quarta etapa das atividades desenvolvidas em campo. Os ensaios foram realizados nas profundidades de 0,1, 0,2 e 0,3 m para cada ponto estudado. O procedimento consistiu na limpeza do local para a realização do ensaio e no rebaixamento da superfície em 0,1 m. Antes da realização do ensaio de infiltração, procedeu-se à coleta de amostra para obtenção da umidade natural e também realizou-se ensaio para determinar o peso específico aparente pelo método do frasco de areia a partir da NBR 7185 (ABNT, 1986), conforme será descrito no próximo item.

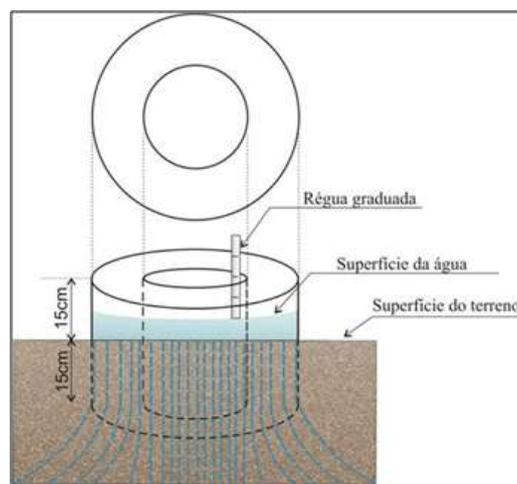


Figura 3.8 – Modelo do ensaio da taxa de infiltração básica pelo infiltrômetro de cilindros concêntricos (Leão Carvalho, 2008).

Após a realização do ensaio do frasco de areia, o local foi devidamente limpo e a superfície

acertada no sentido de mantê-la plana. A partir de então foram adotados os procedimentos conforme descritos por Oliveira & Silva (2005). O local foi previamente umedecido e o infiltrômetro de cilindros concêntricos foi cravado a 0,15 m de profundidade com o auxílio de uma vigota para receber os golpes de marreta.

Após a cravação dos cilindros, as superfícies internas dos cilindros foram recobertas com saco plástico, do tipo utilizado para acondicionamento de lixo, para amortecer o impacto da água no solo no momento da colocação do líquido, preservando as condições de infiltração. Após essa preparação, a água foi despejada no interior dos dois cilindros até o nível de referência, aproximadamente 0,15 m de altura. Em seguida, a cobertura de plástico foi retirada e foram iniciados os procedimentos de ensaio, controlando a infiltração de água no solo ao longo do tempo.

Na execução desses ensaios, optou-se por registrar o tempo necessário para a infiltração de uma coluna de água pré-estabelecida, baseada na manutenção da altura da água infiltrada fixa. Para tanto, foi colocado um suporte com uma régua graduada no interior do cilindro interno e estabelecida uma altura fixa de 40 mm de rebaixamento da coluna d'água. A Figura 3.9 (a) e (b) apresenta o ensaio do infiltrômetro com cilindros concêntricos nos Poços 3 e 8, nas profundidades 0,1 e 0,3 m respectivamente. Foram realizadas várias simulações e foi dado por finalizado o ensaio no momento em que pelo menos três leituras relativas ao tempo (Δt) na mesma profundidade apresentaram valores iguais de Δt .



Figura 3.9 – Ensaio de infiltração com o infiltrômetro cilindro concêntrico: (a) Poço 3 em 0,1 m ; (b) Poço 8, em 0,3 m, respectivamente, nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Após a estabilização das leituras para a mesma altura de infiltração, a taxa de infiltração pode ser calculada a partir das Equações (3.7 e 3.8) e atribuída ao modelo empírico de Kostiakov-

Lewis, conforme sugerem Oliveira & Silva (2005).

$$L_{ai} = kt^a + f_0 t \quad (3.7)$$

em que:

L_{ai} = lâmina total de água infiltrada no solo ou infiltração acumulada, (mm);

t = tempo acumulado ou de oportunidade para infiltrar a lâmina de água no solo, (h);

a e k = coeficientes empíricos dependentes do tipo de solo;

f_0 = taxa de infiltração básica (TIB), (mm/h).

f_0 = lâmina média infiltrada (mm) / intervalo de tempo Δt (h)

em que f_0 = obtida a partir de três valores de $\Delta t \approx$ constante (final do teste).

Especificamente neste ensaio, a taxa de infiltração superficial foi considerada a lâmina média infiltrada (mm) num intervalo de tempo (Δt), ou seja, f_0 . O valor de f_0 foi acatado a partir de três valores de infiltração ocorrida em Δt constante.

3.3.2.3 - DETERMINAÇÃO DO PESO NATURAL DO SOLO (γ_n): MÉTODO DO FRASCO DE AREIA

O procedimento para o ensaio do frasco de areia para determinação do peso específico *in situ* foi executado conforme NBR 7185 (ABNT, 1986-b). Em cada ponto de estudo, foram realizados ensaios nas profundidades de 0,1, 0,2 e 0,3 m. A Figura 3.10 (a), (b) e (c) ilustra as diversas etapas do desenvolvimento do ensaio pelo método do frasco de areia. Vale ressaltar que essas avaliações foram realizadas em locais muito próximos aos poços para determinação da taxa de infiltração e antes da realização do ensaio de infiltração.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.10 – Sequência de procedimentos à obtenção do peso específico natural *in situ*: (a) retirada do solo; (b) preenchimento com areia; (c) pesagem do solo retirado – Poço 2 na região norte de Goiânia-GO.

3.3.2.4 - ESTIMATIVA DO PESO NATURAL DO SOLO (γ_n): MÉTODO NÃO CONVENCIONAL

A determinação do peso específico natural do solo (γ_n) foi realizada com o objetivo de verificar possíveis variações na estrutura e umidade do solo ao longo da profundidade, conforme a sazonalidade do clima. Este método consistiu na retirada de todo o solo do poço escavado para o ensaio de infiltração, para cada profundidade ensaiada, que foi devidamente embalado e pesado em campo, podendo ser visualizado na Figura 3.11 (a) e (b). Por meio das Equações 3.9, 3.10 e 3.11, foi possível obter o peso natural do solo (γ_n) a partir da estimativa do volume do poço com base na profundidade e no peso da amostra coletada.

$$\gamma_n = \frac{W}{V} \quad (3.8)$$

$$V = h \cdot A \quad (3.9)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.10)$$

em que:

γ_n = peso específico do solo (kN/m³);
W = peso do solo retirado do poço (kN);
V = volume (m³);
h = altura do poço ensaiado;
A = área do poço;
d = diâmetro do poço.

3.3.3 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICO-MINERALÓGICA E ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Com as amostras coletadas nos 10 poços, foi possível realizar os ensaios de laboratório com o objetivo de obter as características química, mineralógica e física do solo. Conforme já mencionado, o Poço 7.1 apresenta as respectivas informações a partir da pesquisa desenvolvida por Silva (2010).

3.3.3.1 - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO PERFIL DE SOLO

A caracterização química dos solos representativos dos perfis dos poços estudados objetivou inferir a influência do processo de alteração nas características químicas de acordo com o

contexto ambiental, seja por orientação das vertentes, seja atributos morfométricos. A caracterização química foi realizada segundo as normas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). Os ensaios foram realizados por uma empresa particular e contemplaram as profundidades de 0,2, 0,5, 1, 2, 3 e 4 m, sendo essa última profundidade apenas para o Poço 1.

Os ensaios químicos consistiram nas medidas de pH, em água e em solução KCl, Alumínio, matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC) a do pH 7,0. A partir dos resultados encontrados dos valores do pH em água e em solução KCl, obteve-se os valores de ΔpH . O valor do ΔpH corresponde a diferença aritmética dos valores encontrados para o pH em água e o pH em KCL ($\Delta\text{pH} = \text{pH em água} - \text{pH}$). O resultado de ΔpH pode ser negativo ou positivo. Quando o resultado se mostra negativo, indica que na amostra analisada ocorre um predomínio de argilas silicatadas. Caso seja o contrário, ou seja, o resultado se apresenta positivo, indica que na amostra ocorre uma predominância de óxidos e hidróxido de Fe e Al.

3.3.3.2 - CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DO PERFIL DE SOLO POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X (DRX)

O conhecimento da composição mineralógica dos solos é relevante, pois a sua identificação permite, dentre outros, a identificar do nível de intemperismo e das características físicas do solo, informações importantes na compreensão no comportamento hidromecânico de um solo tropical. Nesta pesquisa, o objetivo da caracterização mineralógica foi o de identificar os minerais que estão presentes na fração argila nas amostras representativas dos solos estudados, considerando para tanto o perfil de profundidade do poço e a sua posição no ambiente natural como exposição das vertentes, declividades e curvatura do terreno.

Dentre os métodos para identificação dos minerais do solo, os mais utilizados são: difração de raios X (DRX), análise termodiferencial e gravitacional, microscópio eletrônico e os métodos químicos. De acordo com Resende et al. (2005), por ser um processo qualitativamente preciso, rápido, barato, aliado aos conhecimentos de pedologia, permitindo previsão sobre o comportamento físico-hídrico do solo, o método DRX tem sido largamente utilizado na identificação mineralógica dos solos.

Assim, a caracterização dos elementos mineralógicos neste estudo foi obtida por meio da técnica de DRX. Essa técnica consiste em determinar as distâncias interplanares mantidas

entre os íons ou átomos formadores dos cristais, por meio do conhecimento do ângulo formado pelo feixe de raios X incidente e o plano atômico que o difrata e do comprimento de onda desses raios. Essa técnica é eficiente na detecção qualitativa dos minerais constituintes de inúmeros materiais, dentre os quais os materiais cimentantes, rochas, concretos e solos. Segundo Santos (1975), é possível identificar rapidamente os grupos de argilominerais presentes por meio da técnica de DRX, a partir da separação da fração argila por método de suspensão aquosa, orientação e secagem desse material (lama) em uma lâmina de vidro.

As amostras representativas dos Poços 2 a 10 até a profundidade de 3 m e do Poço 1 até a profundidade de 4 m foram analisadas conforme procedimento do Laboratório de Difração de Raios X do Laboratório de Mecânica das Rochas da Divisão de Solos de FURNAS (LABS.C – DCT.C). O laboratório utiliza um difratômetro da marca Siemens, modelo D5000. As interpretações foram realizadas por meio de sistema digital, utilizando-se *software* para captura de dados Diffrac Plus versão 2,4 de 2004 e *software* Eva para interpretação de dados. Esse *software* contém um banco de dados com 218610 padrões, entre minerais, cimento e material cerâmico. Deve-se ressaltar que o limite de detecção do método, nessas condições usuais de trabalho, é de 5 %, ou seja, os constituintes que ocorram na amostra abaixo desse limite provavelmente não serão captados, da mesma forma que materiais não cristalinos não são captados, já que a técnica de DRX se baseia na estrutura cristalina do material analisado. Os resultados são visualizados na forma de registros gráficos, denominados de difratogramas de raios X.

As amostras foram analisadas nas frações integral e argila. As amostras secas ao ar foram submetidas à desagregação por meio do processo de moagem até a obtenção de 100% do material passante na peneira de 325 *mesh Tyler* (0,043 mm). Finalizado o procedimento de moagem e peneiramento, uma alíquota do material era destinada à análise no Difratômetro de Raios X pelo Método do Pó Não Orientado, resultando no difratograma da Análise Integral. A alíquota restante do material seguiu com procedimentos para a obtenção do material argiloso. Para tanto, foi realizada a separação da fração argila por sedimentação em coluna, utilizando-se hexametáfosfato de sódio como defloculante. O material em suspensão foi coletado e concentrado por centrifugação a 4500 rpm, e o material concentrado foi depositado em três lâminas de vidro. A orientação preferencial das partículas foi obtida por meio do deslizamento de uma lâmina limpa sobre a lâmina que continha “material fração argila” e, na sequência, as lâminas foram deixadas ao ar para a secagem.

Em uma das lâminas preparadas, cujo tratamento consistiu apenas em secagem ao ar, foi realizada a análise natural da amostra. Na segunda lâmina, foi feita a análise glicolada. A lâmina contendo a fração argila foi saturada com etileno-glicol em dessecador, o qual foi colocado sobre chapa aquecida a 50°C por 12 horas, para garantir a completa saturação da atmosfera interna do dessecador e, assim, possibilitar a identificação dos argilominerais expansivos, caso existissem. A terceira lâmina foi destinada à análise calcinada. Nesta etapa, o tratamento dado à lâmina é o de permanecer em mufla a 550°C, por 3 horas. Essa análise indica a presença de minerais como caulinita, gibbsita e goethita, que passam por retração ou colapso total de sua estrutura sob condições de temperaturas elevadas, sob a temperatura de 490°C.

3.3.4 - ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO PERFIL DE SOLO

Os ensaios para a determinação das propriedades geotécnicas dos perfis de solos contaram com o suporte dos Laboratórios de Solos do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB) e do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil (GECON) vinculado à Universidade Federal de Goiás (UFG). Para a caracterização física das amostras coletadas nos perfis de solos representativos dos locais estudados, foram realizados os ensaios de determinação do teor de umidade, dos pesos específicos do solo (γ_n) e dos grãos (γ_s), dos limites de consistência (w_L) e (w_P). Também foi feita a classificação dos solos a partir da metodologia Miniatura Compactada Tropical (MCT) Expedita e a determinação da granulometria pelos métodos do peneiramento mecânico e do granulômetro a laser.

Os ensaios de caracterização física foram realizados em amostras deformadas e secas ao ar por um período de 48 horas. Os ensaios para a determinação da umidade natural foram realizados logo após as campanhas de campo, e os ensaios para a determinação do peso específico do solo (γ_n) foram feitos em amostras indeformadas. A partir dos resultados dos pesos específicos do solo (γ_n) e dos grãos (γ_s) e umidade natural, foram calculados os seguintes índices físicos: peso específico aparente seco (γ_d), índice de vazios (e), grau de saturação (S_r) e porosidade (n).

3.3.4.1 - DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

A partir da norma da NBR 6457 (ABNT, 1986-a), foram determinados os teores de umidade

natural das amostras deformadas, a cada 0,5 m, e das amostras indeformadas, a cada 1 m de profundidade.

3.3.4.2 - DETERMINAÇÃO DA CURVA GRANULOMÉTRICA

Os solos podem ser classificados, de acordo com o tamanho das partículas, em pedregulho, areia, silte e argila. A determinação da curva granulométrica é feita a partir da análise granulométrica conforme procedimentos da NBR 7181 (ABNT, 1984-b), a qual inclui procedimentos de peneiramento na determinação pedregulho e areia, e sedimentação para a determinação silte e argila. O ensaio de sedimentação pode ser realizado com e sem o uso de defloculante. Na condição sem defloculante, é obtida a textura do solo em estado quase natural. Mantendo-se a estabilidade dos agregados na presença de água e mediante o uso de defloculante, tem-se a desagregação dos agregados por ação do defloculador. Ambas as condições de ensaio são recomendáveis (Roseno & Camapum de Carvalho, 2007). Além do ensaio convencional de granulometria por sedimentação, existe a possibilidade de avaliar a distribuição granulométrica utilizando o granulômetro a laser. Com a execução do ensaio com o granulômetro a laser, a desagregação dos agregados é física, a amostra é agitada e bombeada e, posteriormente, aplica-se o ultrassom.

Neste estudo, foram realizados ensaios para a obtenção da curva granulométrica utilizando o granulômetro a laser sem ultrassom, na condição com e sem defloculante. Os procedimentos de preparação das **amostras e a** execução do ensaio seguiram as sugestões de Roseno & Camapum de Carvalho (2007) e Lima (2003). Os ensaios foram realizados no Laboratório de Solos da Geotecnia vinculado à Universidade de Brasília (UnB), utilizando o granulômetro a laser modelo Masterizer S Standard Bench. As amostras foram preparadas numa cápsula com o defloculante hexametáfosfato de sódio, concentração 5% e, após 24 horas, realizou-se o ensaio. As amostras submetidas ao ensaio sem o uso do defloculante foram preparadas com água destilada, e o ensaio foi realizado imediatamente após o preparo.

3.3.4.3 - DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA (w_L, w_P)

Os limites de consistência são baseados no conceito de que os solos podem apresentar quatro estados de consistência a partir da variação da umidade, quais sejam: estado sólido, semissólido, plástico e líquido. Os conteúdos de umidade e os pontos de transição entre esses

estados são designados de limite de retração ou contração, limite plástico e limite líquido, respectivamente, segundo Lambe & Whitman (1969).

A consistência do solo se apresenta estreitamente relacionada às forças físicas de coesão e adesão. Essas forças atuam em diferentes condições de umidade, podendo oferecer ao material maior, menor ou nenhuma resistência à deformação ou mesmo à ruptura. O solo sob condição diferenciada de umidade poderá apresentar, em grau variável, duas formas de consistência: a adesividade e a plasticidade, de acordo com Costa (1973). Os ensaios para determinação dos limites de consistência são padronizados pela NBR 6459 (ABNT, 1984-c) para obter-se o limite de liquidez (w_L) e pela NBR 7180 (ABNT, 1984-b), para o limite de plasticidade (w_P). As Figuras 3.11 e 3.12 mostram a execução dos ensaios conforme procedimentos das respectivas normas.

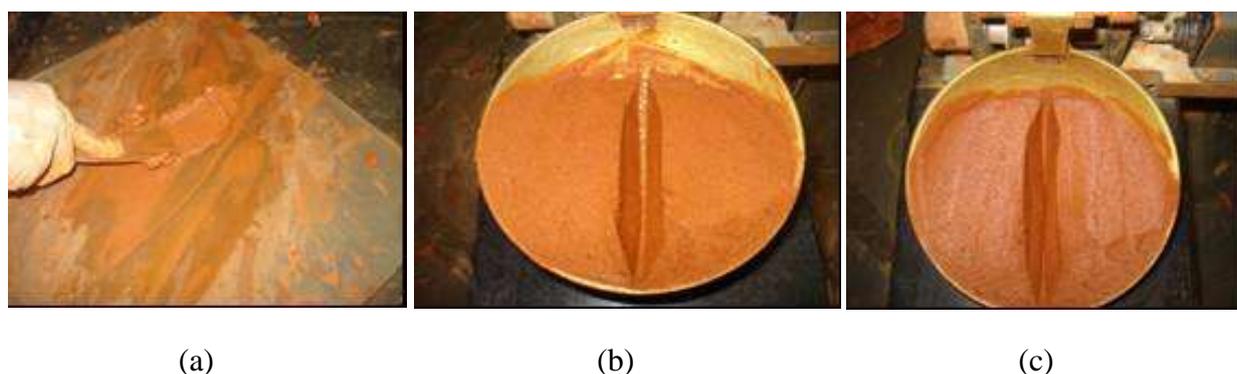


Figura 3.11 – (a) Umedecimento e espatulação da amostra; (b) amostra na concha do aparelho de Casagrande e abertura de sulco; (c) união das bordas do sulco após execução de golpes no aparelho de Casagrande.

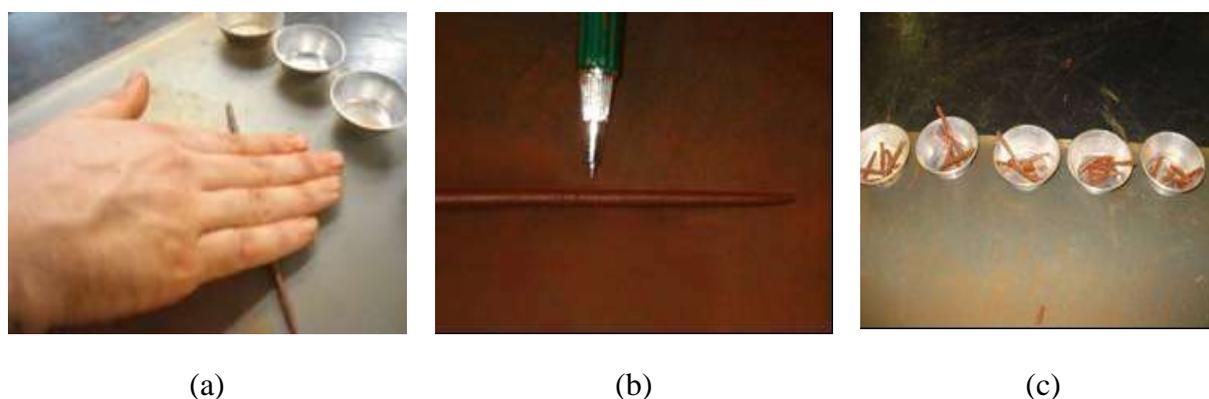


Figura 3.12 – (a) Movimento em placa de vidro à obtenção de rolinho de 3 mm; (b) fissuras no rolinho de 3 mm; (c) amostra distribuída em capsulas à obtenção da umidade.

A partir desses limites, são obtidos os índices a eles relacionados, dentre os quais os índices de plasticidade (IP). O IP é obtido pela diferença entre os limites de liquidez (w_L) e o de plasticidade (w_p) e indica o intervalo de variação de umidade de um determinado solo para que mantenha a sua consistência plástica. O índice de plasticidade auxilia na classificação do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

Segundo Gaidzinski (2006), os limites de Atterberg refletem a influência dos argilominerais nas propriedades dos solos, mas não consideram a influência do tipo e da quantidade dos argilominerais presentes. A atividade da argila é variável devido à composição química dos argilominerais presentes no solo, o que permite maior ou menor influência nas propriedades geotécnicas do solo. Segundo Vargas (1977), a atividade da fração argila no solo é feita de acordo com a proposta de Skempton, a partir do índice de atividade da argila (I_a). Esse índice é definido como a relação entre o índice de plasticidade (IP) e a porcentagem de argila presente no solo (tamanho das partículas inferior a 2μ), indicando solos de atividade normal, I_a entre 0,75 e 1,25; solos ativos, I_a acima de 1,25. Quanto mais elevado o valor de I_a , maior atividade apresenta o solo.

A atividade da argila pode ser obtida segundo o método proposto pela EMBRAPA (1999), o qual considera a relação entre a capacidade de troca catiônica (CTC) e a argila. A capacidade de troca de cátions correspondente à fração argila é calculada a partir da relação do valor da $CTC \times 1000$ e o teor de argila em $g.kg^{-1}$. Por esse critério, a argila é considerada de atividade alta quando I_a obtido for igual ou superior a $27 \text{ cmol}_c/kg$ de argila, e de baixa atividade quando I_a for inferior a esse valor, para ambos os casos sem correção para o carbono. Nesta pesquisa, optou-se à obtenção do I_a da argila a partir do método proposto pela EMBRAPA (1999), por considerar a capacidade de troca catiônica.

3.3.4.4 - CLASSIFICAÇÃO DO PERFIL DE SOLO SEGUNDO A METODOLOGIA MCT DOS SOLOS

A metodologia Miniatura Compactada e Tropical (MCT), adaptada por Nogami & Villibor (1994), propõe a classificação do solo pelo Método Expedito das Pastilhas. A Figura 3.13 apresenta a Carta de Classificação do Método das Pastilhas que, com os dados de C_t e penetração, possibilita a identificação do grupo a que o solo pertence. Esse método é mais

indicado à classificação de solos tropicais altamente intemperizados, uma vez que a classificação pelo método SUCS foi desenvolvida com aplicações para solos de clima temperado. A metodologia MCT expedita avalia principalmente as propriedades de resistência, deformabilidade e permeabilidade dos solos.

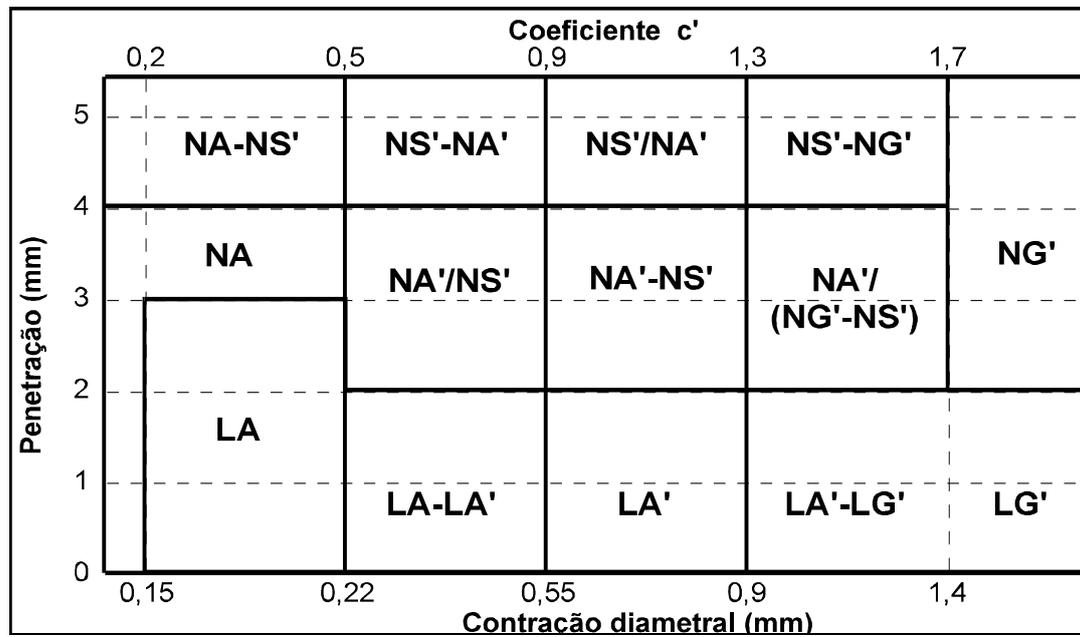


Figura 3.13 – Classificação MCT Expedita (Nogami & Villibor, 1994).

Na Figura 3.13, tem-se:

- LG': Argilas e argilas arenosas de comportamento laterítico;
- LA': Solos tipicamente arenosos de comportamento laterítico;
- LA : Areias com poucos finos e de comportamento laterítico;
- NG': Solos saprolíticos argilosos, de comportamento não laterítico, pobres em quartzo e ricos anfibólios, piroxênios e feldspatos cálcicos;
- NS': Solos saprolíticos silto-arenosos peculiares, de comportamento não lateríticos, de constituição predominantemente feldspática-micácea-quartzosa;
- NA': Misturas de areias quartzosas (ou de minerais de propriedades similares) com finos passando na peneira de 0,075 mm, de comportamento não laterítico;

- NA : Areias, siltes e misturas de areias e siltes. Se forma a mistura de constituídos essencialmente de quartzo e/ou mica, de comportamento não laterítico. Praticamente, não
- possuem finos argilosos coesivos e siltes caoliníticos.

O ensaio envolve procedimentos de moldagem, contração diametral e reabsorção d'água, conforme sequência mostrada na Figura 3.14. A classificação do solo é obtida a partir da relação dada pelas medidas de contração (C_t) e de penetração. O ensaio classifica os solos em dois grandes grupos, os de comportamento laterítico (L) e os de comportamento não laterítico (N), subdivididos em sete grupos: NA; NA'; NS'; NG'; LA; LA' e LG.

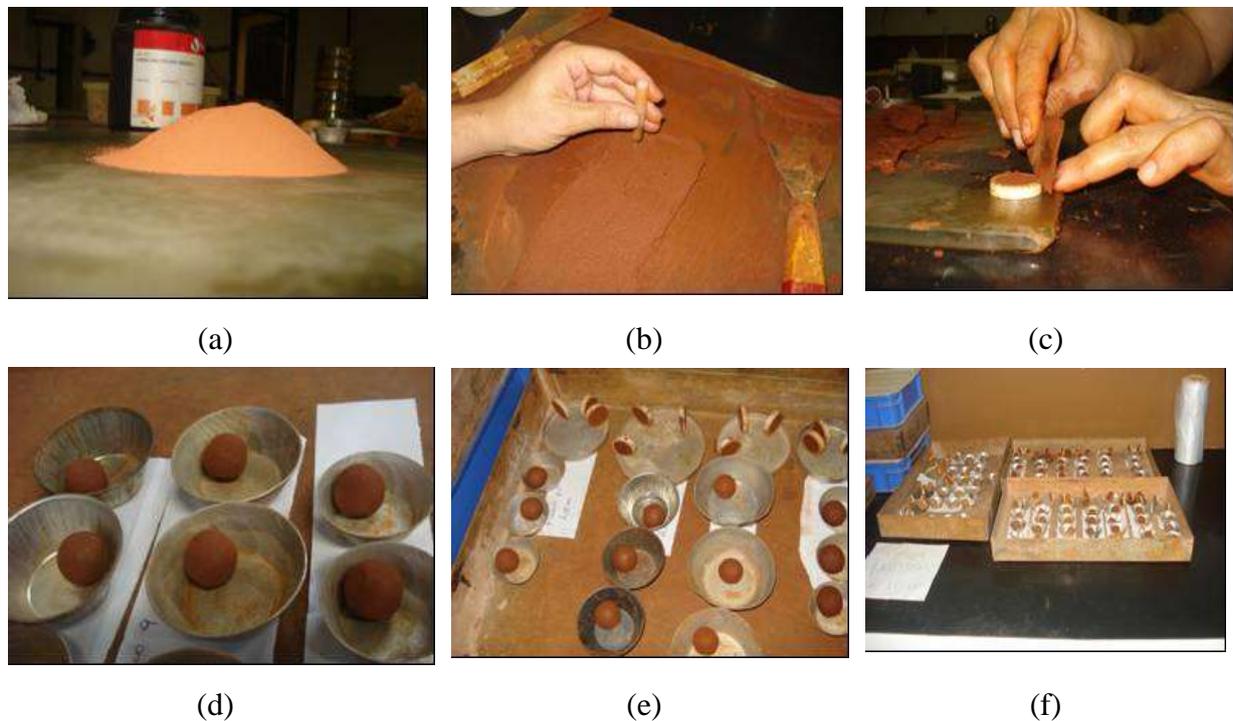


Figura 3.14 – (a) Amostra seca e destorroada; (b) amostra sendo espaturada; (c) umidade de consistência teste com o penetrômetro; (d) moldagem do corpo-de-prova em anel; (e) moldagem das bolinhas; (f) corpos-de-prova (pastilhas e bolinhas) para secagem a ar.

3.3.4.5 - DETERMINAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO (γ_n)

O peso específico natural do solo (γ_n) é obtido a partir da relação entre o peso total e o seu volume total. Os procedimentos adotados à obtenção do peso específico natural do solo (γ_n) seguiram normatização proposta do método da balança hidrostática, padronizado pela NBR

10838 (ABNT, 1988). O ensaio foi realizado a partir de amostras indeformadas de solo pela talhagem de três corpos-de-prova de aproximadamente 0,10 x 0,10 m, conforme sequência de fotos mostrada na Figura 3.15, os quais mostram a sequência dos procedimentos.

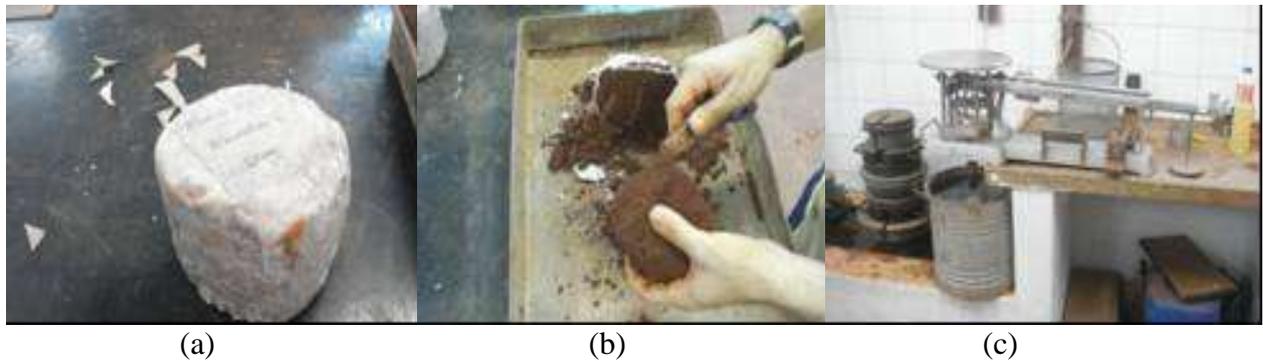


Figura 3.15 – Sequência das fotos: (a) bloco modado e parafinado no campo; (b) moldagem do corpo-de-prova a ser pesado e parafinado; (c) corpo-de-prova imerso na água para obter a massa do corpo-de-prova parafinado imerso.

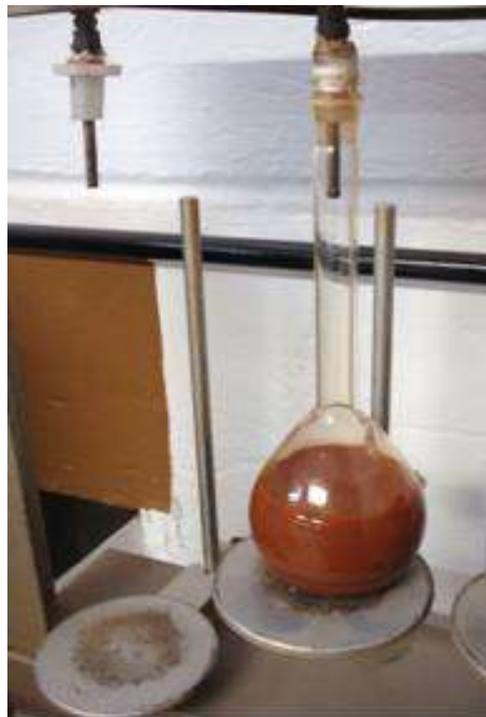
3.3.4.6 - DETERMINAÇÃO DO PESO ESPECÍFICO DOS SÓLIDOS (γ_s)

O peso específico dos sólidos (γ_s) é referente às características das partículas sólidas e à relação com o seu volume. Os procedimentos adotados na determinação do peso específico dos sólidos (γ_s) seguiram a proposta normatizada pela Norma Brasileira NBR 6508 (ABNT, 1984-a), conforme Figura 3.16 (a), (b) e (c). Segundo os procedimentos descritos na norma, para execução desse ensaio, utiliza-se 50 g quando o solo se apresenta argiloso e 60 g para solos arenosos.

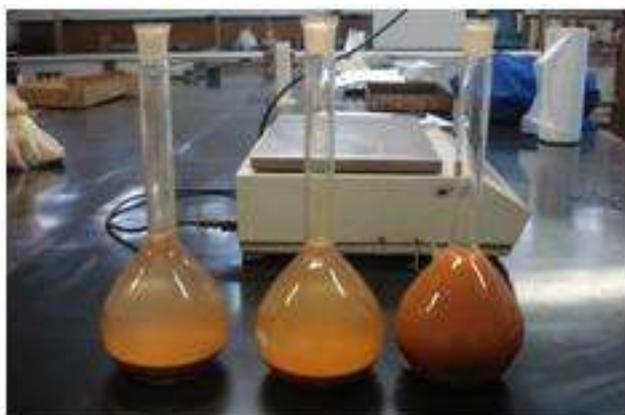
Nesta pesquisa, todas as amostras foram separadas em 50 g para a execução do ensaio. Essas amostras ficaram por 12 horas em completa imersão em água destilada. Após esse período, a amostra foi transferida para um copo de dispersor e procedeu-se à dispersão das partículas por 15 min. Após 15 min, toda a amostra foi transferida para um picnômetro e submetida a bomba de vácuo por mais 15 min; em seguida, a amostra ficou em repouso por 15min em banho-maria (água aquecida). Depois do repouso em água aquecida, a amostra foi novamente submetida a bomba de vácuo por mais 15min. Após esses procedimentos, a amostra foi deixada em repouso e, na sequência, obteve-se o peso de todo o conteúdo, amostra e picnômetro, e tomou-se a temperatura da água.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.16 – (a) Retirada do ar do solo após processo de dispersão das partículas; (b) retirada no ar após repouso em água aquecida; (c) amostra para serem efetuadas as leituras de pesagem e tomada de temperatura da água.

3.3.4.7 - DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA: MÉTODO DO PAPEL-FILTRO

A determinação da curva característica foi obtida a partir da técnica do papel-filtro, conforme procedimentos adotados por Marinho (1995) e pelo Método da ASTM-D5298 (ABNT, 1992). Os ensaios foram realizados especificamente para os Poços 1, 6 e 8, seguindo trajetórias de secagem e umedecimento, de forma a obter uma boa distribuição da curva característica. Foram moldados e pesados treze cilindros de 0,05 m de diâmetro e 0,02 m de espessura. As amostras moldadas em cilindros de nº 1 a 6 foram secas ao ar por aproximadamente 24 horas; a de nº 7 foi mantida a umidade natural, e às de nº 8 a 13 foi acrescida umidade (água destilada) até atingir condição de saturação. A Figura 3.17 ilustra cada uma das etapas de

preparação da amostra, acondicionamento e leitura da umidade detectada pelo papel-filtro.

Um cuidado especial foi tido na fase de moldagem e no manuseio dos corpos-de-prova, principalmente do Poço 1, pois tanto as amostras úmidas quanto as secas se apresentaram bastante frágeis sob qualquer pressão dos dedos. As amostras, depois de preparadas, foram colocadas em contato com o papel-filtro da marca Whatman n° 42, embaladas com PVC e papel laminado, sendo armazenadas em uma caixa de isopor para garantir as condições ambientais constantes até a obtenção da estabilização das umidades. Após 15 dias, procedeu-se à pesagem do papel-filtro, do papel do meio e do superior em balança analítica de precisão.

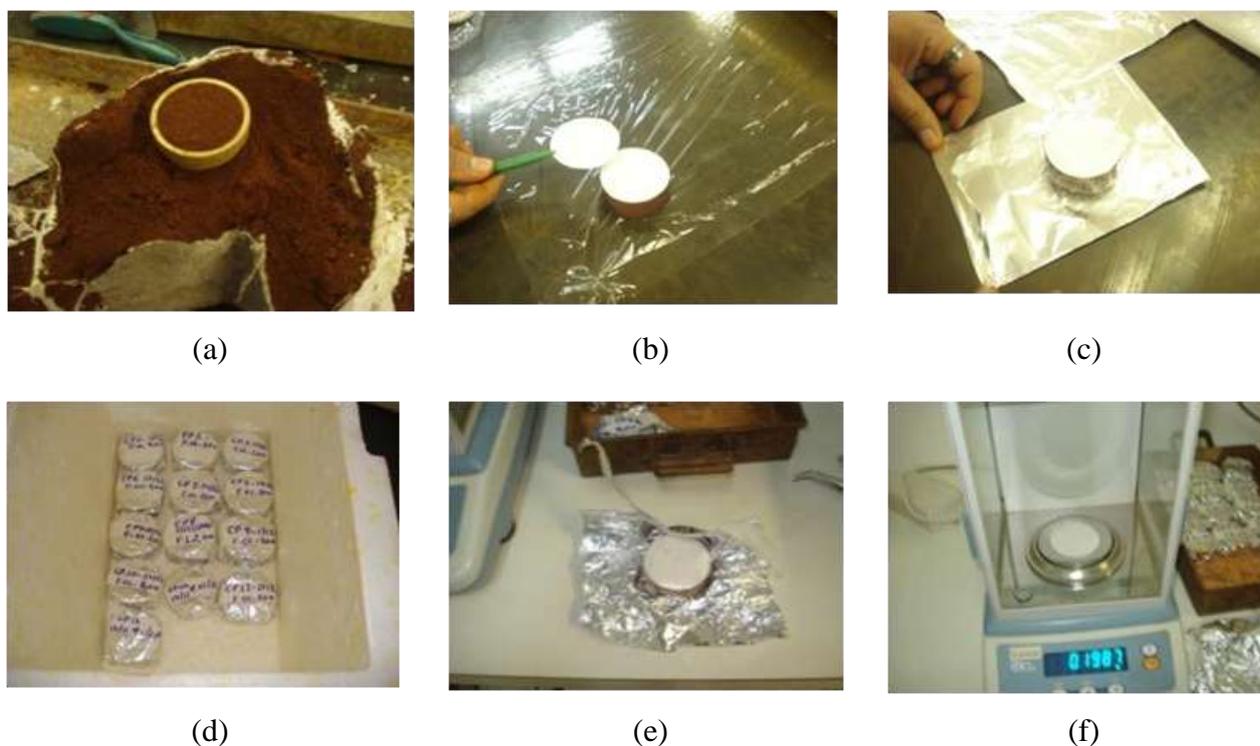


Figura 3.17 – Ensaio de sucção pela técnica do papel-filtro: (a); (b) e (c) preparação do corpo-de-prova; (d) acondicionamento dos corpos-de-prova; (e) corpo-de-prova após 15 dias; (f) pesagem do papel-filtro.

O procedimento de pesar o papel-filtro superior dos corpos-de-prova serviu para comparar os resultados obtidos com o papel-filtro posicionado no meio do corpo-de-prova. Em seguida, o papel-filtro, do meio e superior, foi seco em estufa a 105°C por aproximadamente 3 horas e novamente pesado. Ao pesar o papel-filtro do meio do corpo-de-prova, obteve-se a sucção total do solo. Os corpos-de-prova foram utilizados para a determinação do peso específico natural pelo método da balança hidrostática, da umidade e do índice de vazios.

4 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DE GOIÂNIA E DOS POÇOS ESTUDADOS: DA ESCALA REGIONAL DO CLIMA À DO MICROCLIMA

O presente capítulo apresenta as variações e possíveis tendências dos seguintes atributos atmosféricos: precipitação acumulada, temperatura média do ar (máxima e mínima) e umidade relativa do ar. É apresentada a termografia do Município de Goiânia e, mais particularmente, dos poços estudados, considerando dois momentos distintos representativos da estação de inverno, nos meses de julho e agosto. É apresentada, ainda, a relação espacial da temperatura aparente das superfícies do terreno no Município de Goiânia e dos locais estudados com a cobertura do solo e com a orientação das vertentes. A seguir, apresentam-se análise da variação e possíveis tendências dos atributos precipitação acumulada em 24 horas, temperatura média do ar (máxima e média) e umidade relativa média do ar, sob a perspectiva da dinâmica regional da atmosfera e dos aspectos físico-geográficos.

4.1 - VARIAÇÃO TEMPORAL DA PLUVIOMETRIA EM GOIÂNIA-GO: ESCALA ANUAL, SAZONAL, MENSAL E DIÁRIA DE 1961 A 2008

O comportamento interanual da pluviosidade para a cidade de Goiânia mostra expressiva variabilidade, com extremo chuvoso em aproximadamente 2.000 mm e o seco em 1.050 mm. Observa-se elevada amplitude de variação pluviométrica para a série estudada, de até 985 mm, com significativos índices abaixo e/ou acima da média encontrada para o período de 1961 a 2008, que é de 1.589,7 mm. Esse fato pode ser observado comparando-se o ano de 1963, cujo acumulado é de 1.064,3 mm, e o ano de 1982, que é de 2.049,4 mm.

A série temporal analisada confirma a sazonalidade conferida à distribuição dos eventos pluviométricos em Goiânia, observada na Figura 4.1, conferida por Monteiro (1951) e Nimer (1989), quando discorrem sobre a marcada sazonalidade das chuvas para a região Centro-Oeste. Esses autores explicam que os trimestres relativos às estações primavera-verão indicam a concentração dos episódios chuvosos, enquanto os trimestres outono-inverno caracterizam o período de menor oferta pluviométrica na região Centro-Oeste. Na linguagem popular, esses períodos são denominados, respectivamente, período chuvoso e período seco.

A partir da Figura 4.2 (a) e (b), observa-se a variabilidade mensal e diária da precipitação em

Goiânia com destaque para os meses de dezembro e janeiro, quando ocorrem, em média, 261,4 mm e 260,8 mm, distribuídas respectivamente em 21,8 e 21,7 dias. Os meses com menor expressão em episódios pluviométricos são principalmente junho e julho, quando a média situa-se, respectivamente, em 9,6 e 4,7 mm, ocorrendo em 1,2 dia.

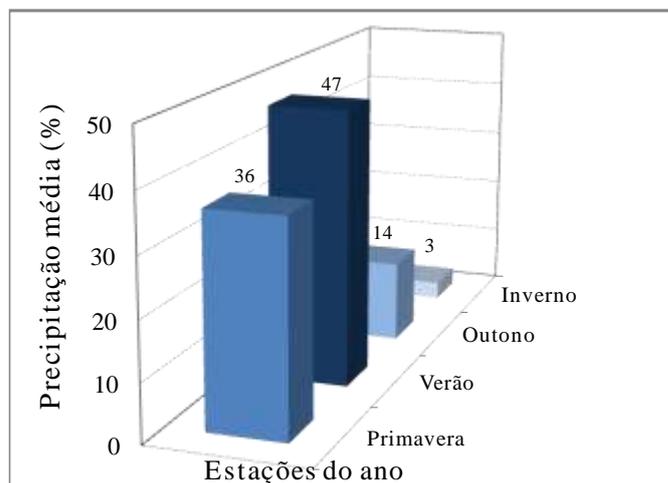


Figura 4.1 – Distribuição sazonal da precipitação em Goiânia-GO no período 1961-2008.

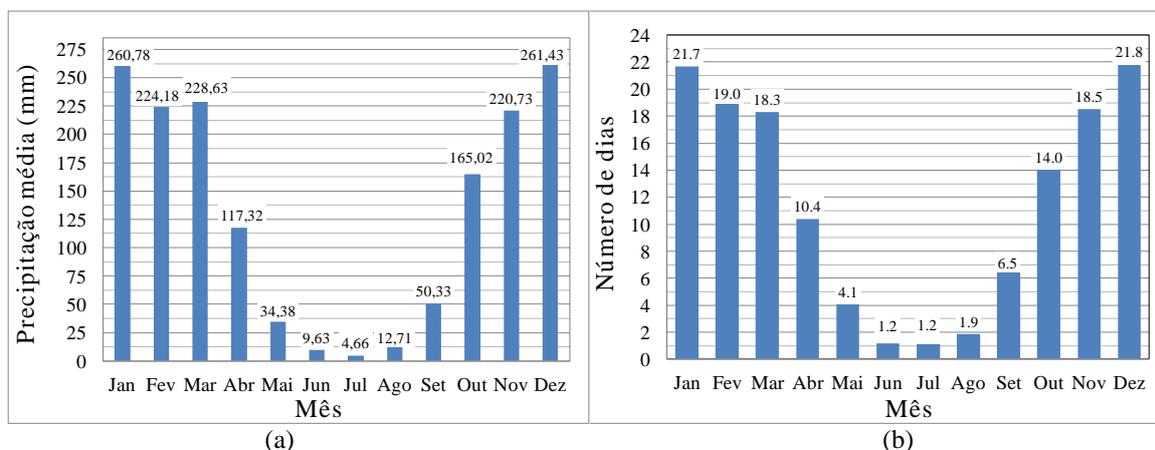


Figura 4.2 – Variação anual das chuvas entre os anos de 1961 e 2008: (a) média mensal (mm) e (b) número médio de dias com pluviosidade no mês, em Goiânia-GO.

A análise estatística aponta a influência da dinâmica regional das massas de ar na determinação desses períodos e permite, ainda, confirmar o caráter irregular e aleatório da pluviosidade, conforme aponta Ayoade (1991) a respeito das características das precipitações em regiões tropicais.

A Figura 4.3 (a) mostra que existe uma relação bastante linear entre a precipitação média mensal e o número de dias em que ela ocorreu. Na Figura 4.3 (b), “1” corresponde ao mês de janeiro e “12” ao de dezembro. Nessa figura, a média diária, que é a precipitação média

mensal dividida pelo número de dias, é máxima, porém praticamente constante no período chuvoso compreendido entre os meses de outubro a abril. Portanto, torna-se possível, com base nessas figuras, entender que os processos de alagamento, inundação, enchente e risco de erosão são perfeitamente previsíveis e reguláveis, desde que sejam adotadas medidas preventivas.

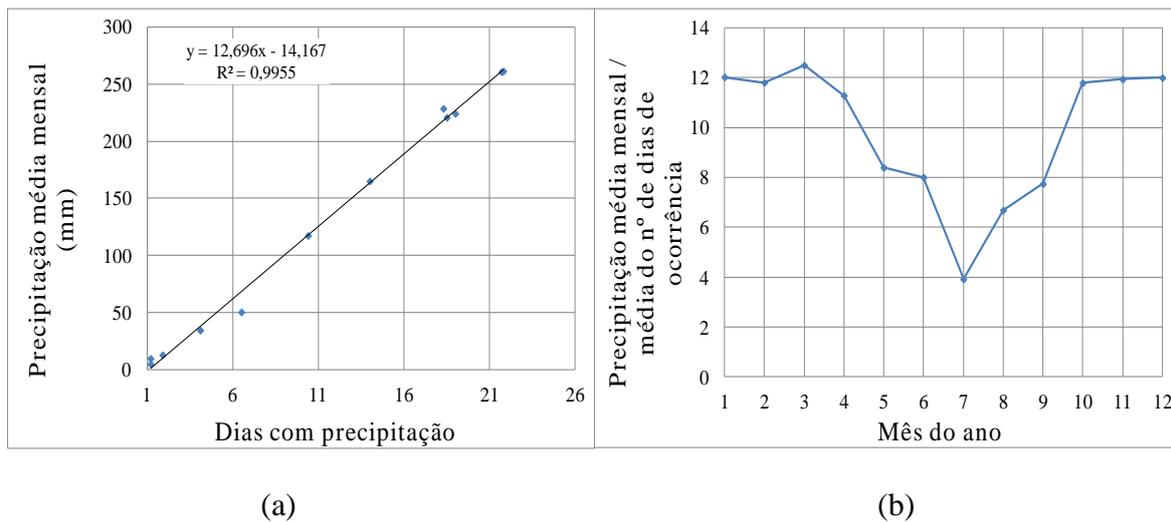


Figura 4.3 – (a) Precipitação média *versus* número de dias e (b) precipitação média mensal / número de dias *versus* mês do ano a partir de janeiro (1), em Goiânia-GO.

A Tabela 4.1 apresenta o total mensal dos eventos chuvosos acumulados em 24 horas analisados ao longo dos anos de 1961 a 2008. Pode ser observado que as chuvas acumuladas entre 0,1 e 24,9 mm representaram de 84% a 98,18% das precipitações ao longo do ano. A pluviometria no intervalo entre 25 e 49,9 mm mostrou ser mais expressiva para os meses de outubro a abril, correspondendo aproximadamente 12% das chuvas. Para os meses de maio a setembro, os eventos dessa magnitude ocorreram com menor frequência, mantendo-se na faixa de 1% e 10,53% da precipitação anual. Pode ser visualizado, nessa Tabela, que os volumes de precipitação diária superiores a 50 mm ocorreram em frequência inferior; mesmo assim, deve-se considerar a importância desses episódios. Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (1999), os eventos de 60 mm/hora são considerados intensos. Por outro lado, ao se considerar o caráter de tropicalidade da região de Goiânia, os eventos pluviométricos intensos tendem a ocorrer em curto intervalo de tempo. Contudo, mesmo que sejam distribuídos em 24 horas, esses eventos já representam possibilidades de transtornos no cotidiano da população urbana, conforme afirmam Sant'Anna Neto & Gardim (1996).

Os episódios pluviométricos acumulados em 24 horas, com valores situados entre 50 a

74,9 mm, apresentaram menor expressão ao longo no ano, mas com maior frequência nos meses de outubro a março, correspondendo de 2% a 3,6% dos eventos pluviométricos. As chuvas acumuladas entre 75 a 99,9 mm ocorreram principalmente no mês de março, quando foram identificados dez eventos (1,64%), seguido do mês de janeiro com seis eventos (0,59%) e com menor expressão nos meses de setembro a dezembro.

Tabela 4.1 – Número de ocorrência dos eventos pluviométricos acumulados em 24 horas para o período de 1961 a 2008 em Goiânia-GO.

Meses	Total de eventos	Intervalos das classes-precipitação (mm)											
		0,1 --- 24,9		25 --- 49,9		50 --- 74,9		75 --- 99,9		100 --- 124,9		125 --- 150	
		Número de Ocorrências	%	Número de ocorrências	%	Número de ocorrências	%	Número de ocorrências	%	Número de ocorrências	%	Número de ocorrências	%
Jan	1041	875	84,05	137	13,16	22	2,11	6	0,58	1	0,10	0	0,00
Fev	910	782	85,93	102	11,21	25	2,75	0	0,00	1	0,11	0	0,00
Mar	878	742	84,51	99	11,28	27	3,08	10	1,14	0	0,00	0	0,00
Abr	499	423	84,77	62	12,42	13	2,61	1	0,20	0	0,00	0	0,00
Mai	196	182	92,86	10	5,10	4	2,04	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Jun	57	51	89,47	6	10,53	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Jul	55	54	98,18	1	1,82	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Ago	90	85	94,44	5	5,56	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Set	311	286	91,96	21	6,75	3	0,96	1	0,32	0	0,00	0	0,00
Out	672	567	84,38	81	12,05	20	2,98	2	0,30	1	0,15	1	0,15
Nov	889	754	84,81	100	11,25	32	3,60	3	0,34	0	0,00	0	0,00
Dez	1046	897	85,76	115	10,99	28	2,68	4	0,38	0	0,00	2	0,19

Os eventos acumulados entre 100 e 124,9 mm e entre 125 e 150 mm ocorreram de forma aleatória. Chuvas entre 100 e 124,9 mm aconteceram apenas uma vez nos meses de outubro, janeiro e fevereiro. Os eventos com intensidade entre 125 e 150 mm ocorreram de forma isolada, sendo registrado apenas um evento no mês de outubro e dois em dezembro. Cabe destacar que, embora a distribuição da precipitação ao longo dos dias que antecedem um episódio extremo seja de grande relevância no desencadeamento de enchentes, alagamentos, inundações e erosões, de um modo geral, devido à baixa hidratação do solo e à presença de elevadas sucções, situação comum mediante forte sazonalidade das chuvas tropicais, é evidente que as características dos maciços quanto ao comportamento hidromecânico devem ser consideradas na implementação de medidas preventivas, como implantação de sistemas de controle de picos de vazão (armazenamento e/ou infiltração das águas pluviais) e preservação de áreas vegetadas.

Para a série histórica analisada, aproximadamente 98% das chuvas acumuladas em 24 horas

correspondem a eventos situados entre 0,1 e 24,9 mm. Esse fato merece atenção, uma vez que, mediante a possibilidade de ocorrência de chuvas acima de 15 mm, a defesa civil recebe alerta do INMET. Em Goiânia, a ocorrência de eventos dessa magnitude pluviométrica em curto intervalo de tempo representa transtornos em determinados pontos da cidade, principalmente em decorrência de eventos de alagamentos. Isso mostra a fragilidade dos sistemas preventivos de controle das águas provenientes da chuva e aponta para a necessidade de se buscar solução, associando o comportamento quanto a distribuição e intensidade dos eventos pluviométricos, áreas densamente ocupadas e permeabilizadas, assim como o comportamento hidromecânico do solo, considerando para tanto a sazonalidade da umidade e o uso e ocupação dos solos.

De acordo com o INMET (1999), são consideradas chuvas moderadas quando ocorrem episódios cuja altura pluviométrica atinge no máximo 6 mm em 10 minutos. Os episódios são considerados intensos quando o volume precipitado chega a 10 mm em dez minutos ou mesmo 60 mm em uma hora. Para a série histórica analisada, aproximadamente 98% das chuvas acumuladas em 24 horas correspondem a eventos situados entre 0,1 e 24,9 mm.

Mesmo representando uma frequência menos significativa quando comparada com o intervalo anterior, é importante considerar os episódios pluviométricos acumulados acima de 25 mm. Esses episódios se dão, por vezes, no momento em que os solos estão mais úmidos, com menor capacidade de infiltração e armazenamento. Mesmo com menor ocorrência no ano, potencializam processos erosivos, enchentes, alagamentos, inundações, bem como deslizamentos de encostas, principalmente ao longo dos canais de drenagem, por apresentarem fundos de vale encaixados.

4.1.1 - ANÁLISE TEMPORAL DA TENDÊNCIA DA PLUVIOMETRIA ACUMULADA: ESCALA INTERANUAL, SAZONAL E DIÁRIA

Considerando a tendência do atributo precipitação para a série histórica analisada de 1961 a 2008, o teste de regressão linear não mostra correlação nem tendência para os dados da série interanual e aqueles referentes às estações do ano, conforme apresentam as Figuras 4.4 e 4.5 (a), (b), (c) e (d). Pode ser observado que, apesar de ter sido positivo, exceto na primavera, o coeficiente angular não interfere nas análises, pois os valores de R^2 são baixos, o que confirma a dispersão dos dados e o caráter aleatório da pluviometria para essa série temporal analisada como um atributo isolado.

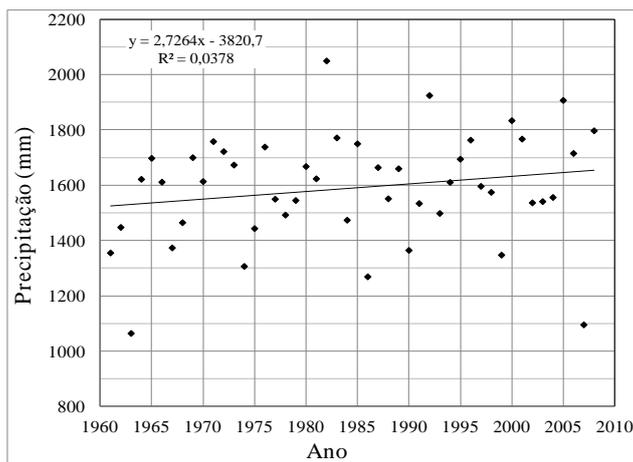


Figura 4.4 – Precipitação acumulada anual em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

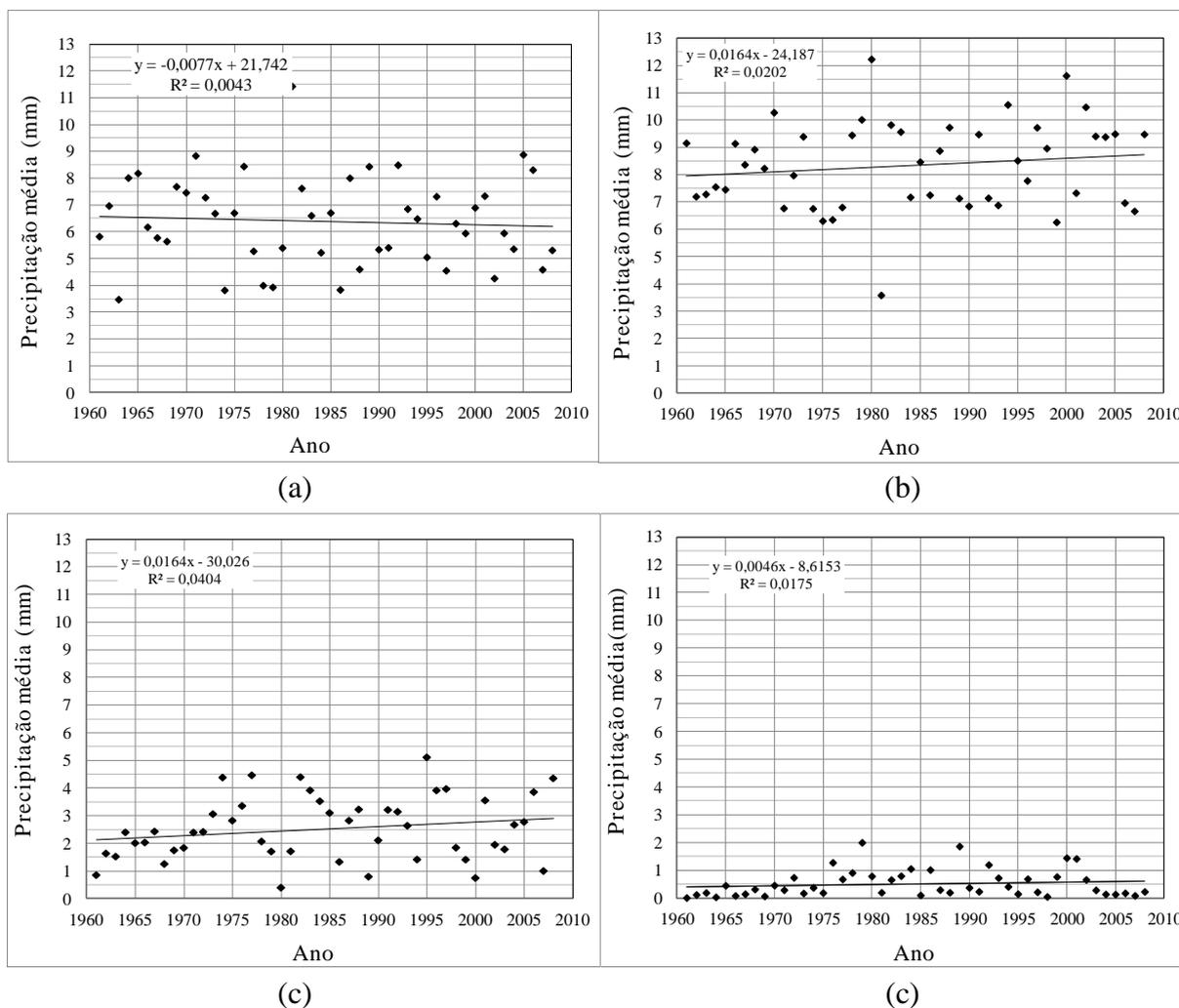


Figura 4.5 – Precipitação média sazonal: (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Foi aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall de forma a observar possíveis tendências na série temporal da precipitação. A análise do teste não paramétrico de Mann-

Kendall aplicado à série precipitação acumulada aceita a hipótese de H_0 , indicando que não há evidência de tendência nos dados (Tns), tanto para a série interanual quanto para as estações do ano. O valor de $u(t)$ encontra-se inserido no intervalo entre -1,96 e +1,96, de acordo com a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Parâmetros do teste Mann-Kendall aplicado à série da precipitação interanual e sazonal em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Precipitação (mm)	Teste de Mann-Kendall $u(t)$	Tendência $\alpha = 5\%$
Interanual	1,48	Tns
Primavera	-0,55	Tns
Verão	1,05	Tns
Outono	1,48	Tns
Inverno	1,08	Tns

Foi realizada a soma dos dias com ocorrência de eventos pluviométricos de cada ano da série histórica, sendo aplicados o teste de Regressão Linear e o teste não paramétrico de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall indica não aceitação de H_0 , apontando para a não evidência de tendência (Tns) no número de episódios pluviométricos no ano, pois o valor de $u(t)$ encontrado foi de -0,89. O teste de Regressão Linear sugere expressiva variabilidade interanual, confirmado pelo valor de R^2 . A Figura 4.6 ilustra essa variabilidade, podendo ser citados dois exemplos extremos: o ano de 1963 com registro de 103 dias com episódios pluviométricos e o ano de 1982 com 170 dias de ocorrência de episódios pluviométricos.

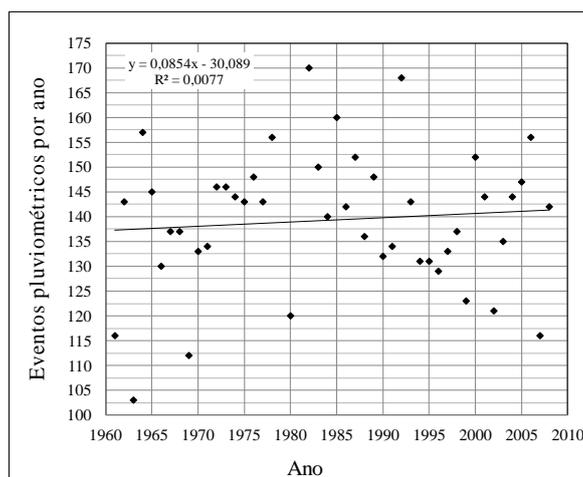


Figura 4.6 – Número de dias com ocorrência de episódios pluviométricos no ano, em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Como houve indicação de que as chuvas acima de 40 mm em 24 horas ocorrem com maior expressão no trimestre primavera-verão, foi aplicado o teste de Mann-Kendall para esses

períodos e, também, para a série anual. O teste rejeita a hipótese H_0 para a série anual e para o verão, indicando que não há evidência de tendência nos dados (Tns). Contudo, para a primavera, o teste de MK aceita a hipótese H_0 e indica tendência negativa (Tsd) nos valores da precipitação, já que o valor encontrado de $u(t)$ foi de -2,95.

Mediante os resultados obtidos nas análises dos testes de tendências para o atributo precipitação, é necessário considerar a origem dos dados da série estudada, pois representam bem as características do clima urbano. Os testes de hipóteses realizados apontaram para a importância de estudos mais detalhados, dado o caráter irregular das chuvas tropicais. Esse fato tende a confirmar as considerações de Xavier & Xavier (1996) sobre a necessidade de estudos mais detalhados da pluviometria nos centros urbanizados, em virtude da complexidade desses processos nessas áreas.

Por outro lado, a partir das análises interanual, sazonal e diária, evidenciou-se irregularidade no regime pluviométrico, conforme visualizado nas Figuras 4.7 e 4.8 (a), (b), (c) e (d). Esse aspecto é justificado pelos vínculos regionais a quadros climáticos intertropicais, em que o ritmo climático e as possíveis irregularidades se evidenciam principalmente na distribuição das chuvas (Monteiro, 1971).

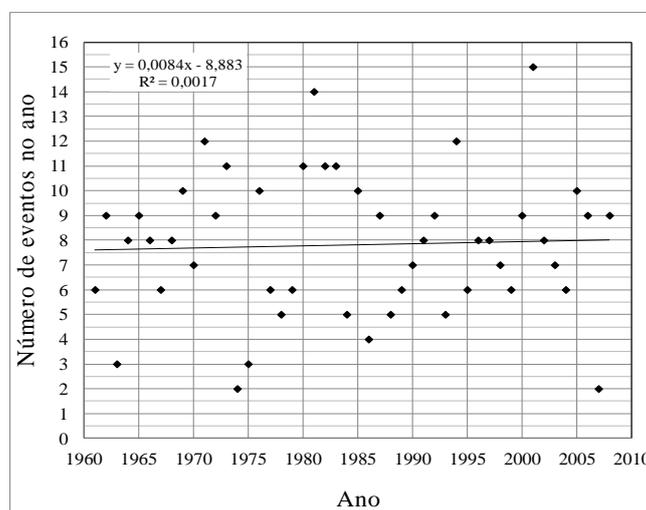


Figura 4.7 – Número de eventos no ano com precipitação acima de 40 mm acumulados em 24 horas, em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

A irregularidade da pluviometria em Goiânia reforça a necessidade de melhoria nos sistemas de previsão, dada a sua imprevisibilidade, atendendo de forma mais eficiente demandas de políticas públicas voltadas ao planejamento de ocupação do solo.

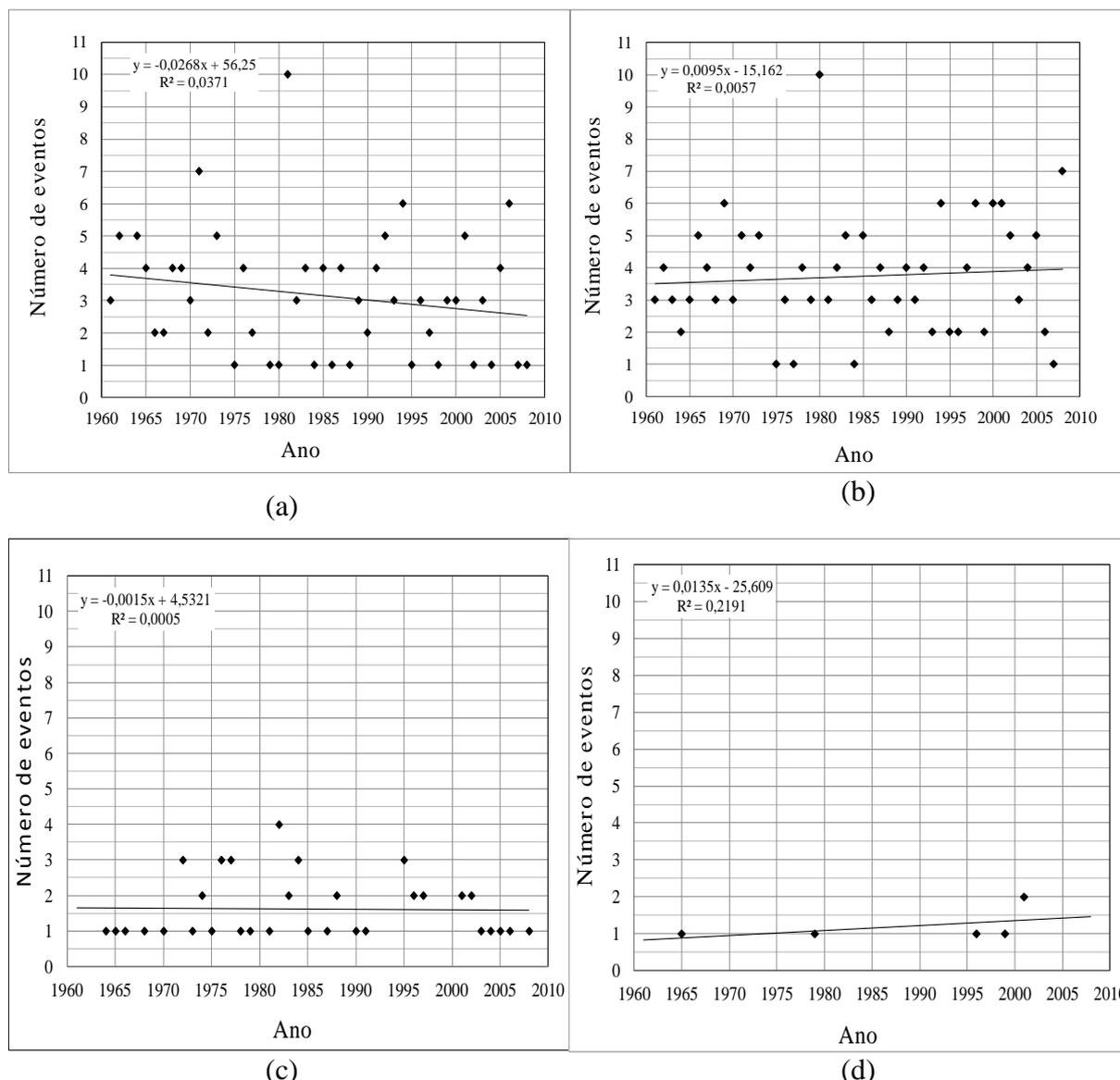


Figura 4.8 – Número de eventos acima de 40 mm acumulados em 24 horas: (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO.

4.1.2 - DETERMINAÇÃO DOS ANOS-PADRÃO

A partir da técnica dos *quantis* aplicada para a série da precipitação foi possível identificar os anos-padrão considerados Muito Seco (MS); Seco (S); Normal (N); Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC). A partir da Tabela 4.3, é possível identificar e classificar cada ano da série analisada em uma das cinco classes e também relacionar aos eventos do Pacífico Tropical Oscilações Sul (ENOS). O teste aponta sete anos classificados como Muito Seco (MS); 10 anos como Seco (S); 11 anos como Normal (N); 13 anos como Chuvoso (C), e 7 anos como Muito Chuvoso (MC).

Tabela 4.3 – Anos-padrão determinados a partir da série da precipitação acumulada em Goiânia-GO, no período de 1961a 2008.

Muito Seco	(MS)	=	$X_i \leq Q(0,15)$	→	$X_i \leq 1367,65\text{mm}$
Seco	(S)	=	$Q(0,15) < X_i \leq Q(0,35)$	→	$1367,65\text{mm} < X_i \leq 1541,58\text{mm}$
Normal	(N)	=	$Q(0,35) < X_i < Q(0,65)$	→	$1541,58\text{mm} < X_i < 1672,29\text{mm}$
Chuvoso	(C)	=	$Q(0,65) \leq X_i < Q(0,85)$	→	$1672,29\text{mm} \leq X_i < 1765,58\text{mm}$
Muito Chuvoso	(MC)	=	$X_i \geq Q(0,85)$	→	$X_i \geq 1765,58\text{mm}$

Q = valores estimados de precipitação para os *Quantis* (0,15; 0,35.; 0,65 e 0,85); Xi= intervalo de valores de precipitação.

Ao se relacionarem os anos-padrão ao comportamento das Oscilações do Pacífico Tropical Oscilações Sul (ENOS), não foi possível, nesta escala de análise, observar vinculação de determinado ano-padrão à ocorrência dos fenômenos ENOS, conforme Tabela 4.4, pois determinada classe tem alguns anos vinculados ao fenômeno associados tanto a El Niño quanto La Niña, ou mesmo anos neutros, ou seja, sem ocorrência desses eventos. Contudo, é importante pontuar que para a escala analisada, variabilidade interanual da precipitação, não foi possível observar relação entre o fenômeno ENOS e o comportamento interanual da precipitação em Goiânia. Essa constatação não implica considerar a total desvinculação dos fenômenos ENOS à variação das chuvas em Goiânia, havendo necessidade de análises que considerem as intensidades dos eventos e a distribuição das chuvas ao longo do ano, considerando além do ano co influência dos fenômenos ENOS, mas também os anos que representam fase de transição entre os respectivos fenômenos.

Esse comportamento evidencia a necessidade de melhor compreensão dos fatores que justificam alterações nas intensidades dos diferentes sistemas atmosféricos, que possam explicar as variações interanuais, assim como a intensidade por episódio pluviométrico na região de Goiânia. Nesse sentido, ressalta-se a importância de realizar análise do comportamento dos atributos do clima considerando séries históricas mais longas, conforme sugere Molion (2006). O referido autor argumenta que pesquisas que utilizam os períodos adotados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), como, por exemplo, 1931-1960 e 1961-1990, para o cálculo das normais climatológicas, podem mascarar as variabilidades climáticas naturais, que ocorrem em consequência de fenômenos naturais de longo prazo, como aqueles relacionados às Oscilações Decadal do Pacífico.

A partir da identificação dos anos-padrão, foram avaliados os anos de 1963 (**MS**), de 1982 (**MC**), de 1984 (**S**), de 1995 (**C**) e de 1998 (**N**) como representativos para análise da variação anual da precipitação, considerando o período cujo intervalo indicou maior representatividade em dias consecutivos com e sem ocorrência de eventos pluviométricos, conforme ilustra a Figura 4.9.

Tabela 4.4 – Identificação dos anos-padrão e possíveis ocorrências com os fenômenos ENOS, em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

Anos	Precipitação total no ano (mm)	Classificação	Eventos ENOS	Anos	Precipitação total no ano (mm)	Classificação	Eventos ENOS
1961	1355,2	Muito Seco	sem ENOS	1985	1749,7	Chuvoso	La Niña Fraco
1962	1447,6	Seco	sem ENOS	1986	1269,0	Muito Seco	El Niño Moderado
1963	1064,3	Muito Seco	El Niño Fraco	1987	1663,9	Chuvoso	sem ENOS
1964	1621,5	Normal	La Niña Moderado	1988	1551,1	Normal	La Niña Forte e El Niño Moderado
1965	1697,4	Chuvoso	La Niña e El Niño Moderados	1989	1659,6	Normal	La Niña Forte
1966	1611,2	Normal	El Niño Modeado	1990	1364,5	Muito Seco	El Niño Forte
1967	1373,5	Seco	sem ENOS	1991	1534,0	Seco	sem ENOS
1968	1464,7	Seco	El Niño Moderado	1992	1924,3	Muito Chuvoso	sem ENOS
1969	1699,8	Chuvoso	sem ENOS	1993	1498,1	Seco	El Niño Forte
1970	1613,4	Normal	La Niña e El Niño Moderados	1994	1610,4	Normal	El Niño Moderado
1971	1757,9	Chuvoso	La Niña Moderado	1995	1694,3	Chuvoso	La Niña Fraco e El Niño Moderado
1972	1721,7	Chuvoso	El Niño Forte	1996	1763,1	Chuvoso	La Niña Moderado
1973	1673,1	Chuvoso	La Niña Forte e El Niño Forte	1997	1596,1	Normal	El Niño Forte
1974	1306,6	Muito Seco	sem ENOS	1998	1574,4	Normal	La Niña Moderado e El Niño Forte
1975	1443,3	Seco	sem ENOS	1999	1347,5	Muito Seco	sem ENOS
1976	1738,1	Chuvoso	La Niña Forte e El Niño Fraco	2000	1833,5	Muito Chuvoso	sem ENOS
1977	1549,6	Normal	El Niño Fraco	2001	1766,9	Muito Chuvoso	La Niña Fraco
1978	1492,2	Seco	El Niño Fraco	2002	1536,4	Seco	El Niño Moderado
1979	1544,9	Normal	El Niño Fraco	2003	1541,0	Seco	El Niño Moderado
1980	1667,7	Chuvoso	El Niño Fraco	2004	1555,9	Normal	El Niño Fraco
1981	1623,3	Chuvoso	sem ENOS	2005	1906,9	Muito Chuvoso	El Niño Fraco
1982	2049,4	Muito Chuvoso	El Niño Forte	2006	1715,0	Chuvoso	El Niño Fraco
1983	1771,2	Muito Chuvoso	La Niña Fraco e El Niño Forte	2007	1095,2	Muito Seco	La Niña Forte e El Niño Fraco
1984	1473,7	Seco	La Niña Fraco	2008	1796,9	Muito Chuvoso	La Niña Forte

Os anos-padrão classificados como extremo seco (**MS**) ocorreram em 7 anos dos 48 anos da série analisada. O ano de 1963, representativo de extremo seco, apresentou apenas 12 dias consecutivos com episódios pluviométricos e 138 dias consecutivos sem esses eventos. A precipitação total desse ano foi de 1.064,3 mm. Os anos-padrão identificados como muito chuvosos (**MC**) ocorreram também em 7 anos da série analisada. O ano de 1982, com o acumulado de 2.049,4 mm, foi escolhido como representativo da classe. Nesse ano, a maior representatividade foi de 23 dias consecutivos com chuva e 45 dias consecutivos sem chuva.

Os anos-padrão considerados como seco (S) ocorreram em dez anos da série analisada, e foi escolhido o ano de 1984 com total de 1.473,7 mm como representativo de anos secos. O período de maior representatividade indicado para esse ano foi de onze dias consecutivos com pluviometria e 94 dias consecutivos sem pluviometria. Os anos-padrão identificados como chuvosos (C) ocorreram em treze anos, sendo o ano de 1995 representativo dessa classe, com total de 1.694,3 mm. Para esse ano, houve registros de treze dias consecutivos com episódios chuvosos e 91 dias consecutivos marcados pela ausência desses episódios.

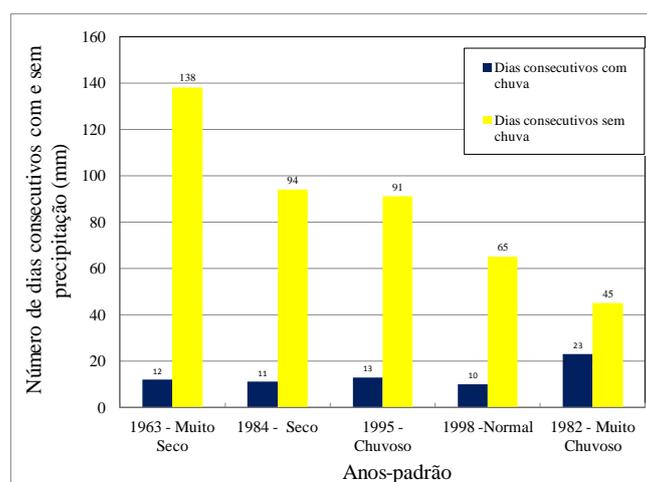


Figura 4.9 – Dias consecutivos com e sem episódios pluviométricos: anos representativos de MS, S, N, C e MC em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

Quanto aos anos-padrão classificados como normais (N), o teste indica que onze anos da série analisada apresentaram índices pluviométricos inseridos na normalidade. Para o ano de 1998, cujo total anual foi de 1.574,4 mm, a maior representatividade em episódios consecutivos com precipitação foram dez dias e sem episódios consecutivos foram 65 dias.

A identificação de anos-padrão, a partir dos extremos positivos ou negativos é relevante nas questões socioambientais quando considerados, por exemplo, a recarga dos aquíferos, a manutenção do nível do lençol freático e as atividades agropecuárias. Neste último caso, o ano-padrão é relevante na determinação do calendário agrícola. Quando se levam em consideração os aspectos geotécnicos, é importante conhecer essa variação, uma vez que os estudos de estabilidade dos maciços consideram a poropressão uma variável muito importante.

A partir das condições de infiltração do solo relacionado com a variação interanual, sazonal e distribuição mensal, considerando tanto as intensidades quanto a distribuição, podem-se

avaliar os diferentes níveis de instabilidade de um determinado maciço. Essas análises devem, no entanto, vislumbrar os eventos ocorridos para que se entenda o comportamento dos meios físico e humano e os eventos que poderão ocorrer para que se atue preventivamente.

4.1.3 - VARIACÃO TEMPORAL DA SÉRIE TEMPERATURA MÉDIA DO AR (°C): INTERANUAL E SAZONAL EM GOIÂNIA-GO NO PERÍODO DE 1961 A 2008

A partir dos dados diários foi obtida a variação interanual da temperatura média do ar: máxima ($T_{m\acute{a}x.}$), mínima ($T_{m\acute{i}n.}$) e compensada ($T_{comp.}$), conforme apresentado na Figura 4.10. A temperatura média máxima ($T_{m\acute{a}x.}$) do ar para a série estudada foi de 30,2°C e a variação interanual indicou valores entre 28 e 32,1°C. Para $T_{m\acute{i}n.}$, a média para o período foi de 18,0°C, apresentando variação interanual entre 16 e 19,3°C. Quanto à série $T_{comp.}$, a média foi de 23,6°C e a variação interanual indicou valores entre 22°C e 25°C. Observa-se, a partir da Figura 4.10, a tendência de elevação dos valores principalmente a partir de 1975 e, de forma mais expressiva, a partir de 1998.

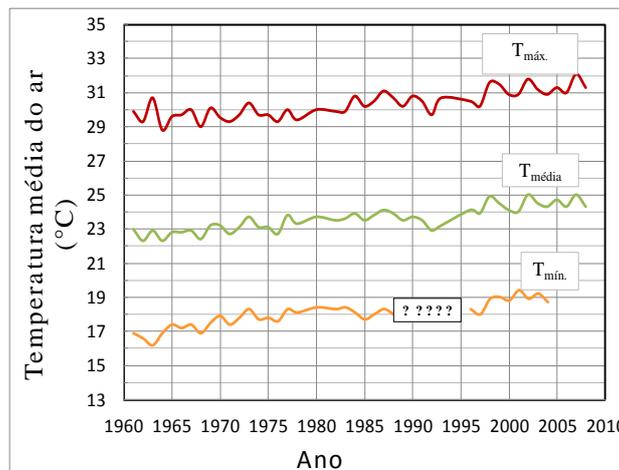


Figura 4.10 – Temperatura média máxima, mínima e compensada do ar (°C) em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

A Figura 4.11 (a) e (b) apresenta o crescimento populacional de Goiânia nas últimas décadas e a relação entre crescimento populacional e temperatura média compensada do ar. Pode ser abstraído dos gráficos a estreita relação entre aumento da população com a tendência de aumento nos valores da temperatura média do ar. Por outro lado, é importante acrescentar que a cidade de Goiânia é conurbada com os municípios vizinhos e, atualmente, a Região Metropolitana de Goiânia (RMG) tem população de 2.206.134 habitantes. Essa informação implica em considerar toda a dinâmica da RMG de Goiânia influenciando no aumento e acúmulo de energia à troposfera, refletindo em variações positivas dos valores da temperatura

do ar.

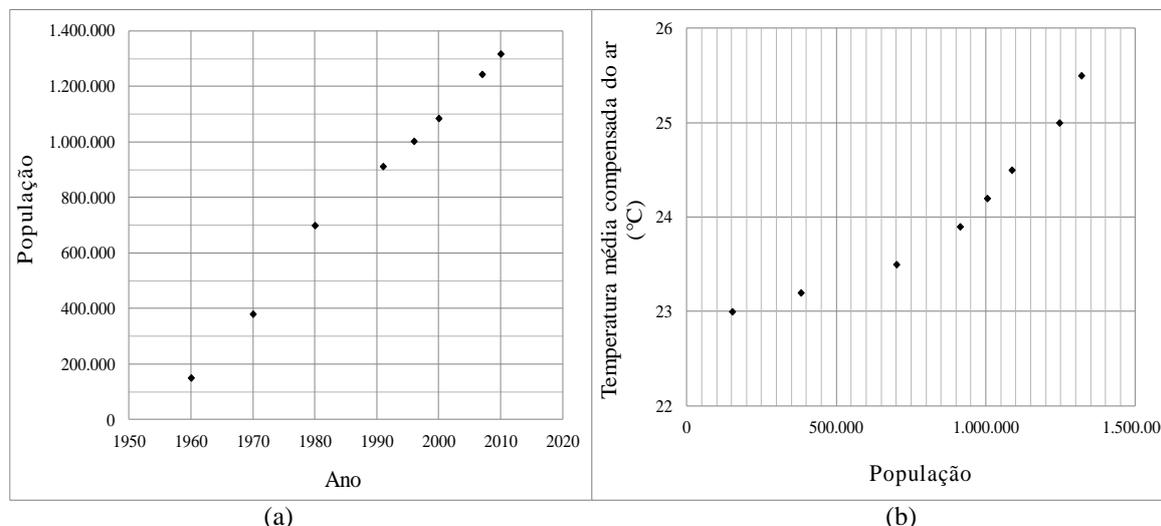


Figura 4.11 – (a) Crescimento populacional; (b) relação entre crescimento populacional e temperatura média compensada do ar (°C) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

4.1.3.1 - ANÁLISE DE TENDÊNCIA DA TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA E MÍNIMA DO AR (°C) EM GOIÂNIA-GO NO PERÍODO DE 1961 A 2008

O teste de Regressão Linear para a série interanual e estações do ano, registradas, respectivamente, nas Figuras 4.12 (a) e (b), 4.13 e 4.14 (a), (b), (c) e (d), aponta uma baixa variabilidade tanto para a temperatura máxima quanto para a mínima. Embora o teste indique elevação nos valores da temperatura do ar, é importante ressaltar que as análises de regressão linear atendem a escala temporal pesquisada. Caso seja aplicada extrapolação além do período analisado, pode resultar em aumento de temperatura superior ao real.

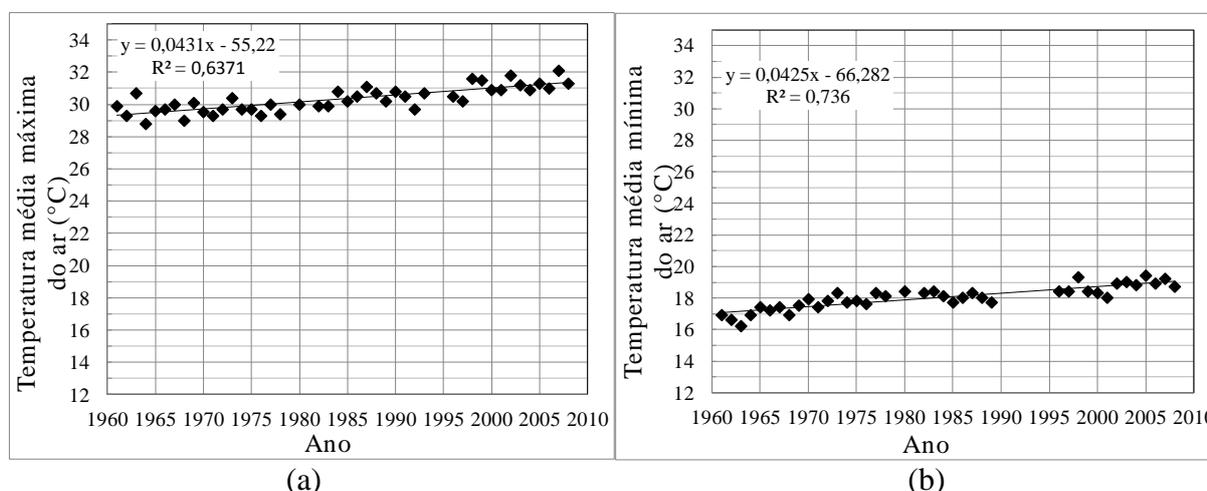


Figura 4.12 – Temperatura média do ar anual (°C): (a) $T_{máx.}$ e (b) $T_{mín.}$ em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

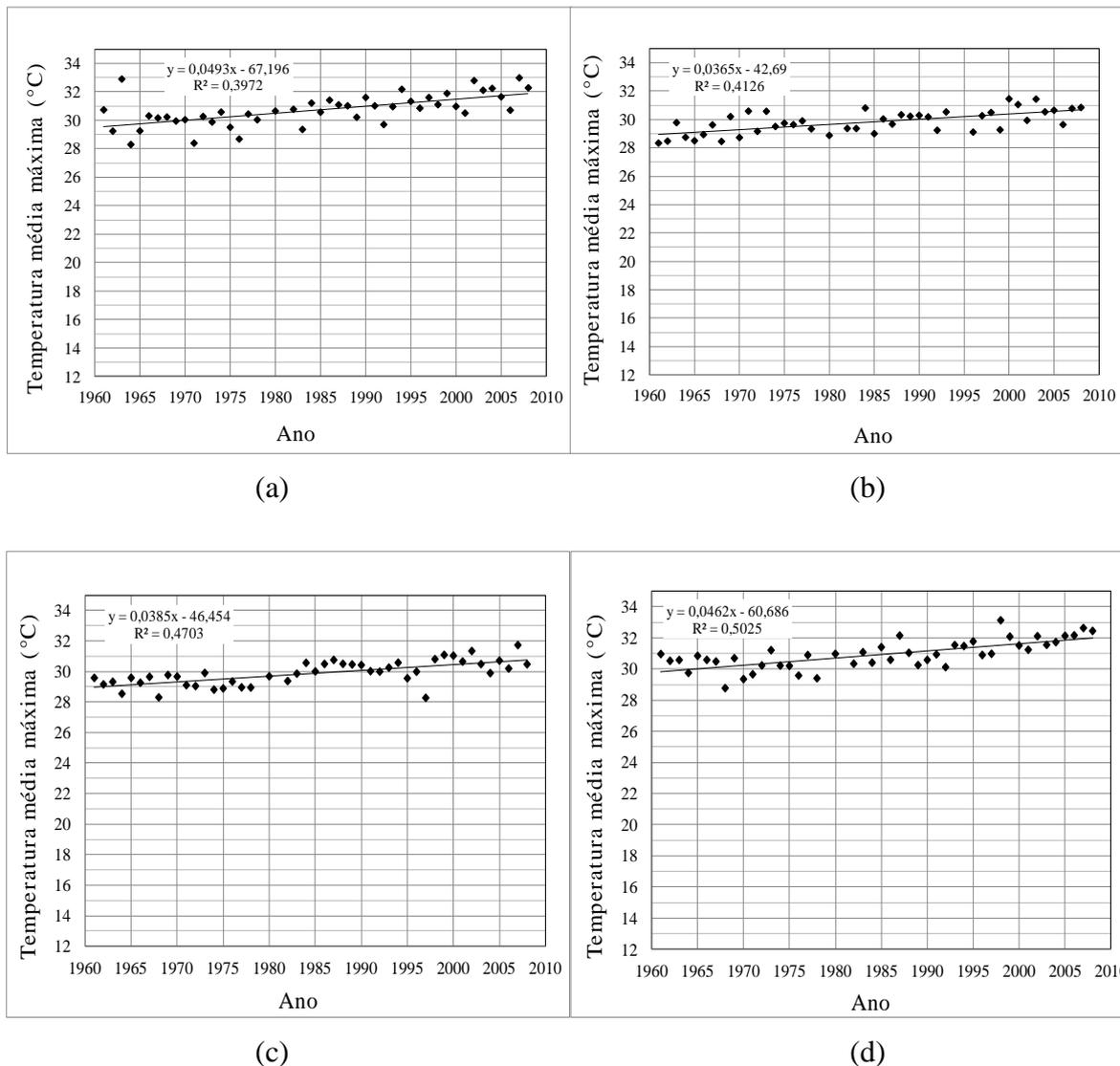
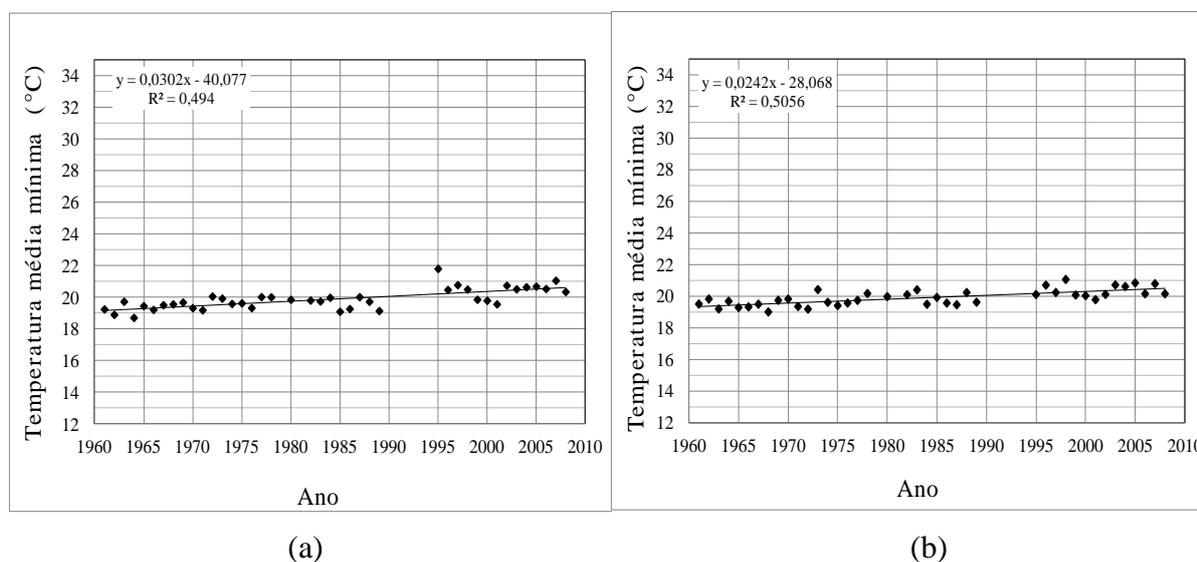


Figura 4.13 – Temperatura média máxima do ar (°C): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.



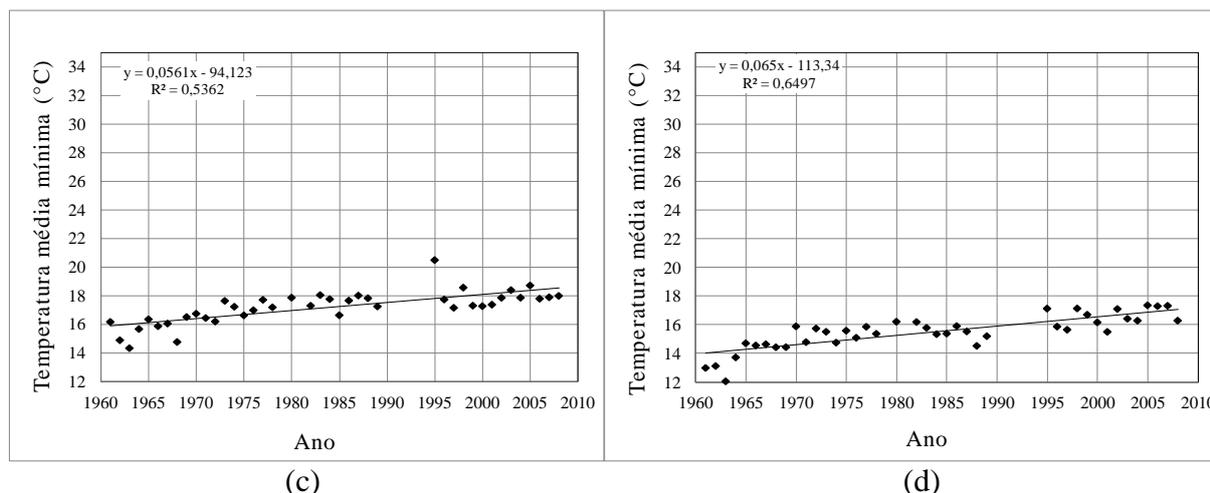


Figura 4.14 – Temperatura média mínima do ar (°C): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

A série da temperatura do ar indicou autocorrelação, proposta por Morettini & Tolói, (2006). Mediante autocorrelação, foi aplicado o teste Sazonal de Mann-Kendall (SMK) para $T_{máx.}$ e $T_{mín.}$, considerando a série interanual e componente sazonal. O teste indicou tendência positiva para a $T_{máx.}$ e $T_{mín.}$, para as séries interanuais e para a componente sazonal, pois o valor de p_{valor} encontrado está inserido no intervalo menor que 5%, conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Parâmetros do teste Sazonal Mann Kendall (SMK) aplicados à série temperatura do ar (°C) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Temperatura média do ar (°C)	Teste Sazonal Mann-Kendall (p_{valor})	Tendência $\alpha = 5\%$
Máxima anual	0,0000000049	Tsa
Mínima anual	0,00000741	Tsa
Máxima primavera	0,00000074	Tsa
Máxima verão	0,000003	Tsa
Máxima outono	0,0000009	Tsa
Máxima inverno	0,0000002	Tsa
Mínima primavera	0,0016	Tsa
Mínima verão	0,00189	Tsa
Mínima outono	0,000004	Tsa
Mínima inverno	0,000006	Tsa

Analisando o coeficiente angular, a tendência positiva nos valores para a $T_{máx.}$ e para a $T_{mín}$ foi de 0,04°C ao ano, indicando acréscimo de aproximadamente 1,9°C, entre os anos de 1961 e 2008. Considerando a $T_{máx.}$ para a componente sazonal, especificamente o inverno, a tendência positiva foi da ordem de 0,05°C por ano, representando acréscimo de 2°C no período da série analisada. A $T_{mín}$ indicou tendência de aumento para todas as estações do ano,

com maior intensidade para o outono e para o inverno, quando o coeficiente angular assinala aumento na ordem de 0,05 e 0,06°C por ano, indicando, respectivamente, acréscimo de 2 e 2,4°C no período da série analisada, ao passo que, na primavera e no verão, este aumento foi menor, respectivamente 0,03 e 0,02°C por ano, representando acréscimo na ordem de 1,2 e 0,8°C entre os anos de 1961 e 2008.

No teste SMK, para a análise interanual, o p_{valor} encontrado indicou a tendência de elevações mais significativas nos valores das temperaturas máximas em detrimento das temperaturas mínimas. Ao serem consideradas as estações do ano, o teste aponta uma tendência positiva para as temperaturas máximas, com elevações mais significativas para a primavera, o outono e o inverno. Já para as temperaturas mínimas, o teste também indicou elevações para todas as estações do ano, sendo mais significativas principalmente no outono e no inverno. As tendências apontadas para o comportamento da temperatura do ar indicam uma forte relação com os fatores relacionados a continentalidade e ângulo solar associados à ocupação urbana e à baixa velocidade dos ventos. Avaliados em conjunto, esses fatores justificam a elevação da temperatura do ar, principalmente durante o inverno e a primavera.

O acréscimo de 1,9°C a 2,4°C, entre os anos de 1961 a 2008, está acima da média indicada por Houghton et al. (1996) para o aumento global da temperatura. Esses pesquisadores indicam acréscimo entre 0,3 a 0,6°C, desde o final do século XIX. Essa diferença se deve, provavelmente, à diferença nas amostras consideradas, pois enquanto a de Houghton et al. (1996) contempla as variações sob o aspecto global, este estudo concentra-se na avaliação de uma área urbana. Contudo, os valores indicados para o aumento nos valores da temperatura do ar (máxima e mínima) estão de acordo com os estudos de Minuzzi et al. (2010), os quais apontam aumento da temperatura máxima e mínima para Minas Gerais em torno de 1,3 a 3,6°C em 43 anos.

Mesmo evidenciando conformidade com os estudos que indicam o aumento da temperatura máxima e mínima, não se pode deixar de apontar possíveis problemas de erros de observação, causados por falhas humanas ou por falta de manutenção dos equipamentos. Por outro lado, também é importante considerar que esta análise contempla informações de uma estação meteorológica, representativa da área densamente ocupada da cidade de Goiânia, evidenciando aí a importância do fator escala nas análises das variações no comportamento dos atributos do clima.

Os resultados indicando aumento nos valores do atributo temperatura do ar (máxima e mínima) permitem inferir sobre a possibilidade de haver registros com menores amplitudes térmicas, principalmente quando são consideradas as estações do ano primavera, outono e inverno, o que implica considerar que as temperaturas tendem a se manter mais elevadas por mais tempo ao longo do dia. Esse aspecto é acentuado no final do inverno e durante a primavera, quando a cidade de Goiânia encontra-se sob influência da massa de ar Tropical Atlântica (Ta). A garantia da estabilidade atmosférica, a baixa velocidade dos ventos e a elevação da altura do ângulo solar implicam o aumento das temperaturas que ficam na dependência do retorno das chuvas na primavera, para amenizar as condições estabelecidas pelo período de estiagem. Deve ser ressaltado que a estabilidade atmosférica durante esse período agrava ainda mais os problemas de concentração de poluentes, que atuam também como forçante radiativo no aumento das temperaturas do ar.

4.1.4 - ANÁLISE DA VARIAÇÃO E DA TENDÊNCIA DA SÉRIE UMIDADE RELATIVA MÉDIA DO AR (U.R. %): INTERANUAL E SAZONAL EM GOIÂNIA-GO, NO PERÍODO DE 1961 A 2008

Quanto ao atributo atmosférico relacionado à umidade relativa do ar, a série temporal indicou uma média de 64,3%. Ao considerar a componente sazonal, a média aponta para elevada variabilidade, conforme pode ser verificado na Tabela 4.6 a seguir.

Tabela. 4.6 – Média e variação sazonal dos índices de umidade relativa do ar (%) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Estação do ano	Média (%)	Variação (%)
Primavera	68,02	58,69 a 78,01
Verão	74,82	69,26 a 82,68
Outono	65,45	57,22 a 72,81
Inverno	49,31	41,27 a 56,10

O teste de Regressão Linear, tanto para a escala interanual quanto para a sazonal, apresentou valores abaixo do limite de confiança. Contudo, é relevante observar que o valor do limite de confiança indicado para série interanual pode ser considerado razoável, conforme pode ser visto nas Figuras 4.15 e 4.16 (a), (b), (c) e (d), especificamente para (c), o que justifica sua aceitação. Isso permite inferir-se sobre a tendência de redução nos valores de umidade relativa do ar, para a série interanual, em torno 6,9% entre os anos de 1961 e 2008.

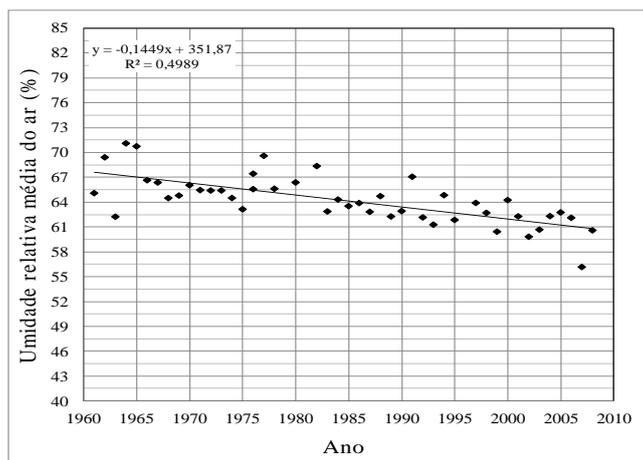


Figura 4.15 – Umidade relativa média anual do ar (%) em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

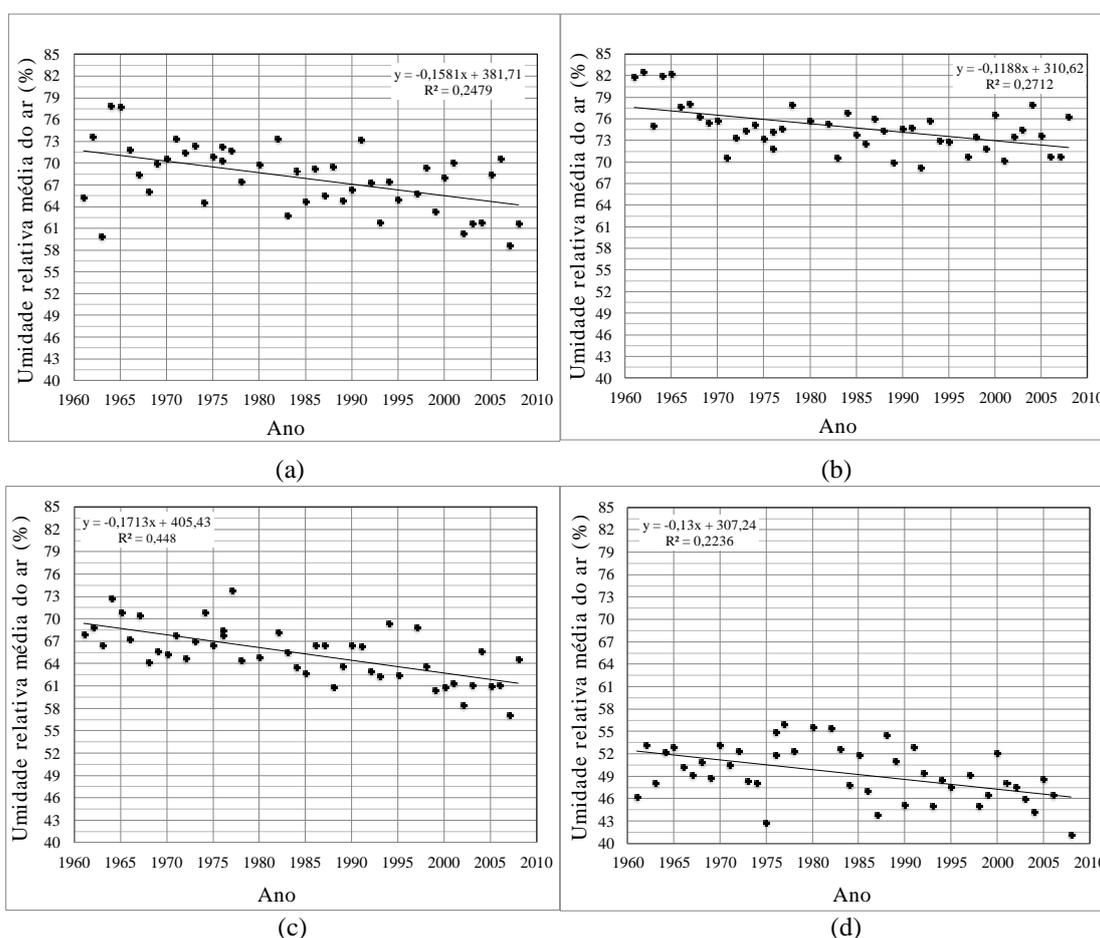


Figura 4.16 – Umidade relativa média do ar (%): (a) primavera; (b) verão; (c) outono e (d) inverno em Goiânia-GO no período de 1961 a 2008.

Mediante verificação de autocorrelação para a série temporal da umidade relativa do ar, foi aplicado o teste SMK. Esse teste apontou tendência negativa tanto para a análise interanual quanto para as estações do ano, pois o valor de pvalor encontrado está inserido no intervalo menor que 5%, de acordo com a Tabela 4.7. O teste SMK indicou para o outono e o inverno as tendências negativas mais significativas.

Tabela 4.7 – Parâmetros do teste Sazonal Mann Kendall (SMK) aplicados à série umidade relativa do ar para as escalas temporais interanual e sazonal em Goiânia-GO, no período de 1961 a 2008.

Umidade relativa do ar (%)	Teste Sazonal Mann-Kendall (p_{valor})	Tendência $\alpha = 5\%$
Interanual	0,0000000096	Tsd
Primavera	0,0015	Tsd
Verão	0,0013	Tsd
Outono	0,0000016	Tsd
Inverno	0,00049	Tsd

O coeficiente angular obtido indicou que, entre os anos de 1961 a 2008, houve diminuição aproximada em até 6,9% da umidade relativa do ar. Esses resultados implicam consequências de natureza socioambientais relacionadas principalmente com a saúde da população urbana, pois os problemas respiratórios são intensificados no inverno, quando os valores de umidade relativa do ar atingem os índices mais baixos do ano. Considerando-se a relação solo-atmosfera, os baixos índices de umidade relativa do ar atmosférico tendem a aumentar os processos de evapotranspiração e, conseqüentemente, as maiores perdas da umidade dos solos.

Os resultados dos testes de tendência aplicados às séries da precipitação, da temperatura do ar (máxima e mínima) e da umidade relativa do ar assumem, nesta pesquisa, caráter apenas indicativo sob o ponto de vista da identificação das possíveis tendências. Os resultados são considerados como ponto de partida para futuras pesquisas. Contudo, não se pode deixar de destacar a importância que os fenômenos de escala local, como consequência da ocupação humana, assim como a dinâmica regional das massas de ar, adquirem nas análises dessa natureza.

Conhecendo os sistemas produtores dos tipos de tempo regional, os elementos atmosféricos atuantes na região de Goiânia obedecem ao controle da radiação de localidades tropicais, respeitando sua localização (latitude). Os fatores geográficos locais, como altitude e relevo, são pouco significativos, devido à configuração de formas plana a suavemente ondulada. A continentalidade representa o fator influenciador na amplitude térmica e na variabilidade das chuvas.

A partir dos resultados obtidos pelos testes de hipóteses, foi possível inferir que a primavera, o outono e o inverno apresentam variações mais expressivas dos atributos atmosféricos. Essas variações são observadas pela tendência que indica a diminuição do número de episódios

pluviométricos acima de 40 mm na primavera; pelas tendências positivas nos valores da $T_{máx.}$ e da $T_{mín.}$ para a primavera, o outono e o inverno, associados à tendência negativa significativa nos valores da umidade relativa do ar. Mediante essas variações, é possível considerar que existe forte tendência para a antecipação do período seco no outono e o seu prolongamento durante a estação da primavera. Desse modo, é possível inferir-se a tendência do prolongamento do período seco no decorrer do ano, associada a elevadas temperaturas do ar e a baixas amplitudes térmicas. Por outro lado, isso pode contribuir para precipitações mais intensas no período chuvoso como forma de equilíbrio.

Os resultados apontam para a importância da análise espacial, integrando dados de estações meteorológicas de diferentes pontos da cidade, principalmente na análise da precipitação, por causa das intensas modificações da cobertura do solo, como é o caso da Região Metropolitana de Goiânia, associada à expressiva complexidade dos diversos fatores que envolvem os eventos pluviométricos.

4.2 - DINÂMICA TÉRMICA DE SUPERFÍCIES NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO E NOS POÇOS ESTUDADOS: INVERNO/2010

Esta subseção apresenta a análise do clima sob a perspectiva do microclima e refere-se à apresentação dos resultados do tratamento das imagens correspondentes à faixa espectral do infravermelho termal para o Município de Goiânia e locais estudados. Para os pontos investigados, os valores de temperatura de superfície do terreno (TST), obtidos a partir de imagens termais, foram comparados com medidas de temperatura do ar e temperatura do solo (superfície) *in situ*. O resultado desta análise possibilitou a distinção no campo da dinâmica térmica das superfícies dos terrenos para o Município de Goiânia e para os pontos estudados, durante o inverno. Foram considerados dois momentos distintos do ano de 2010: 12/07 e 29/08. São escalas temporais de análise distintas que se complementam na análise da influência do clima no comportamento do solo e da influência do solo no comportamento da dinâmica térmica da superfície e do ar.

4.2.1 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO TERRENO NO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA-GO: POSSÍVEIS RELAÇÕES COM A ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES E COBERTURA DO SOLO

Foram analisados dois períodos distintos durante o inverno do ano de 2010, correspondendo aos dias 12/07 e 29/08. Foram consideradas a latitude de Goiânia e, de acordo com o Anuário

do Observatório Nacional (2010), a declinação do Sol, que no dia 12/07 foi de $22^{\circ}1'56''$, com o Sol nascente às 06h45min. e o poente às 18 horas e no dia 29/08, foi de $09^{\circ}34'$, com sol nascente às 06 h 25 min e poente às 18 h 11 min.

As condições sinóticas para a região de Goiânia para essas duas datas correspondem à influência do Centro de Ação Anticlone Tropical Atlântico. Esse sistema atmosférico confere estabilidade atmosférica e céu limpo, corroborando a constatação de Tubelis & Nascimento (1992) de que a insolação atinge seus valores máximos na região Centro-Oeste nos meses de junho, julho e agosto. Campos et al. (2003) apontam, para Goiânia nos meses de junho, julho e agosto, a média de insolação de 270, 283 e 269 horas, respectivamente.

A direção dos ventos nesse período, conforme Caseti (1991), assume preferencialmente a orientação segundo os quadrantes leste-sudeste (ESE), e a velocidade média situa-se em torno de 1m/s, de acordo com Campos et al. (2003). A condição sinótica associada à declinação do sol e aos fatores topoclimáticos e microclimáticos, como a disposição do terreno segundo orientação das vertentes e cobertura do solo, influencia no campo termodinâmico das superfícies do terreno, conforme citado por Geiger (1990) e observado nas Figura 4.17 e 4.18.

As variações temporal e espacial no campo termodinâmico das superfícies em 48 dias indicam amplitude térmica de até 29°C para o dia 12/07 e de até $36,4^{\circ}\text{C}$ para o dia 29/08, conforme apresentado na Tabela 4.8. Dentre os fatores que justificam os valores mais elevados da temperatura aparente da superfície para o dia de 29/08 estão a variação da declinação solar e as perdas de umidade das superfícies, principalmente para as áreas correspondentes à cobertura do solo por pastagem e do solo exposto, como será evidenciado no Capítulo 5 a respeito da caracterização do meio físico e de uso e cobertura dos locais estudados.

Tabela 4.8 – Temperatura aparente da superfície do terreno ($^{\circ}\text{C}$) em Goiânia-GO, em 12/07/2010.

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) 12/07/2010	Área relativa (%)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) 29/08/2010	Área relativa (%)
12,1 – 19,0	7,85	15, – 24,2	3,43
19,1 – 21,0	16,09	24,2 – 27,2	12,08
21,1 – 23,0	49,85	27,2 – 29,7	26,69
23,1 – 24,0	13,31	29,7 – 32,2	37,98
24,1 – 41,2	12,90	32,2 – 35,4	15,81
Total	100,00	35,4 – 51,6	4,01
		Total	100,00

A declinação solar indicada para o dia 29/08, de 9°C , quando comparada com o período de 12/07, de 22° , sugere menor inclinação dos raios solares sobre as superfícies e,

consequentemente, a intensidade da energia incidente por unidade de área é maior, o que confere valores mais elevados da temperatura. Essa situação, de acordo com Mendonça & Danni-Oliveira (2007), associada às condições atmosféricas para o momento, favorece o aumento da temperatura da superfície, pois a estabilidade atmosférica, a temperatura do ar elevada e a baixa velocidade dos ventos favorecem a redução da perda do calor sensível, o que, segundo Mendonça (2004), favorece o maior aquecimento da superfície.

Conforme apresentado no Capítulo 3, quanto à distribuição da cobertura do solo no Município de Goiânia, aproximadamente 36,1% de sua área está inserida no sítio urbano; 23,2% é coberta por vegetação natural; 21,4% é composta por solo exposto; 12,1% corresponde a áreas de pastagem; 5,7% é utilizada para agricultura, e 1,6% é representada por drenagem. Apesar de a vegetação natural representar 23,2% da área do município, a sua espacialização ocorre de forma fragmentada, ao longo dos cursos de drenagem e dos interflúvios, exceto na porção nordeste do município.

Ao analisar a possível coincidência espacial da temperatura da superfície com a cobertura do solo, pode ser abstraído das Tabela 4.9 e 4.10 que as superfícies com cobertura de vegetação natural, em geral, indicam maior expressão em área para temperaturas mais baixas. As superfícies do terreno identificadas como área urbana, solo exposto, agricultura e pastagem apresentam maior representatividade em área conforme aumento da temperatura.

Tabela 4.9 – Coincidência espacial entre uso e cobertura do solo com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 12/07/2010.

Uso e cobertura do solo (%)	Temperatura (°C)				
	12,1 – 19	19,1 – 21	21,1 - 23	23,1 - 24	24,1 – 41,2
Área Urbana	0,24	1,98	21,36	6,76	5,75
Solo Exposto	0,49	2,35	10,2	3,46	4,85
Agricultura	0,25	1,39	3,34	0,49	0,22
Pastagem	0,22	1,46	7,38	1,73	1,33
Vegetação Natural	5,86	8,45	7,31	0,84	0,73
Drenagem	0,79	0,46	0,26	0,03	0,02

Conforme observado a partir das Figuras 4.17 e 4.18, as temperaturas com menores valores associadas principalmente às superfícies com vegetação natural são observadas com maior expressão na porção nordeste do município. Também é possível observarem-se pequenas manchas no sítio urbano, que representam a presença dos parques, indicando o *efeito oásis* (Mendonça, 2009) na amenização da temperatura de superfície. Esse fato ocorre em função da maior capacidade de absorção da energia incidente sobre a cobertura de vegetação natural, quando comparada com as áreas mais fortemente afetadas pela ação humana.

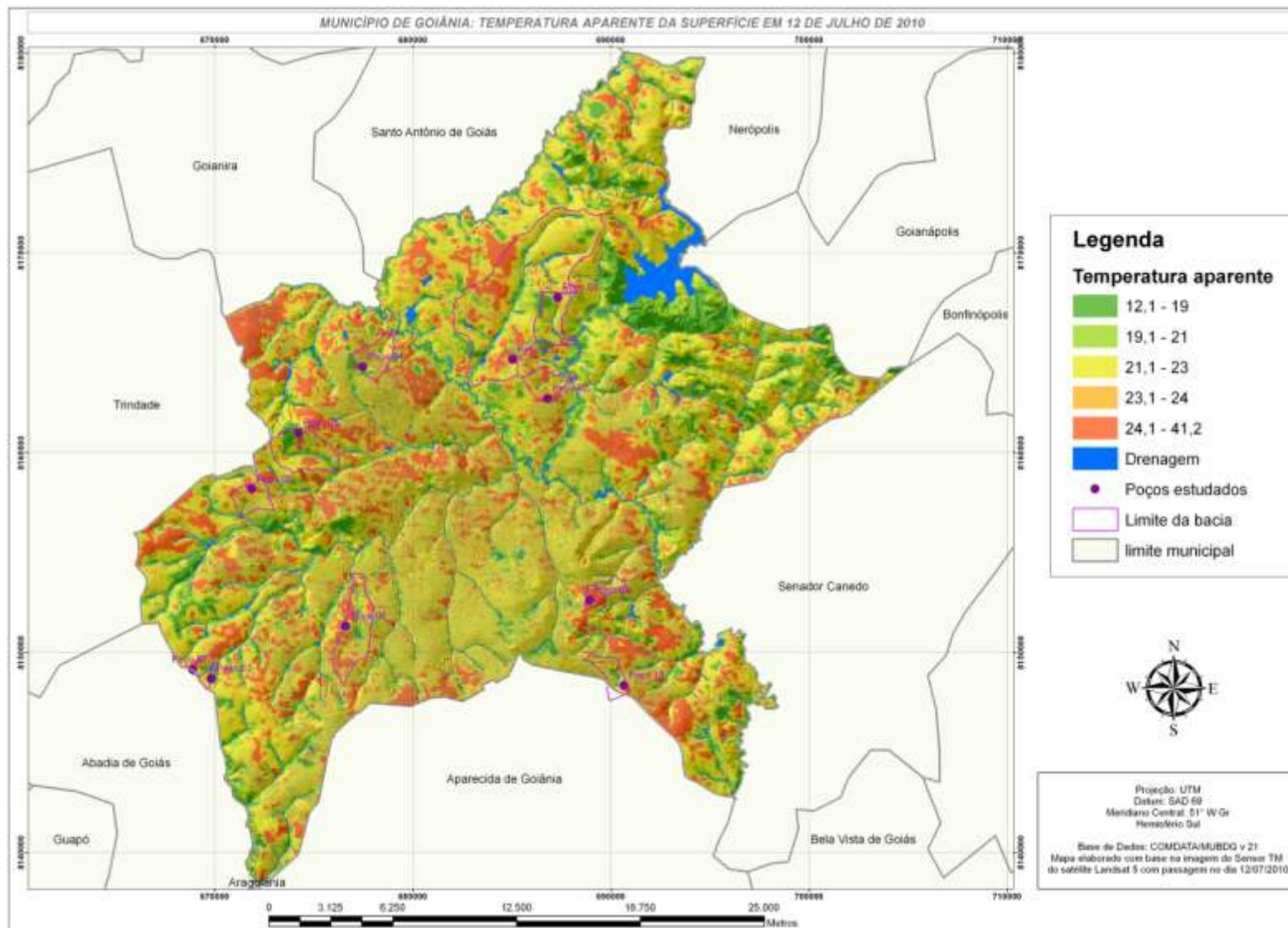


Figura 4.17 – Temperatura aparente da superfície (°C) no Município de Goiânia-GO em 12/07/2010.

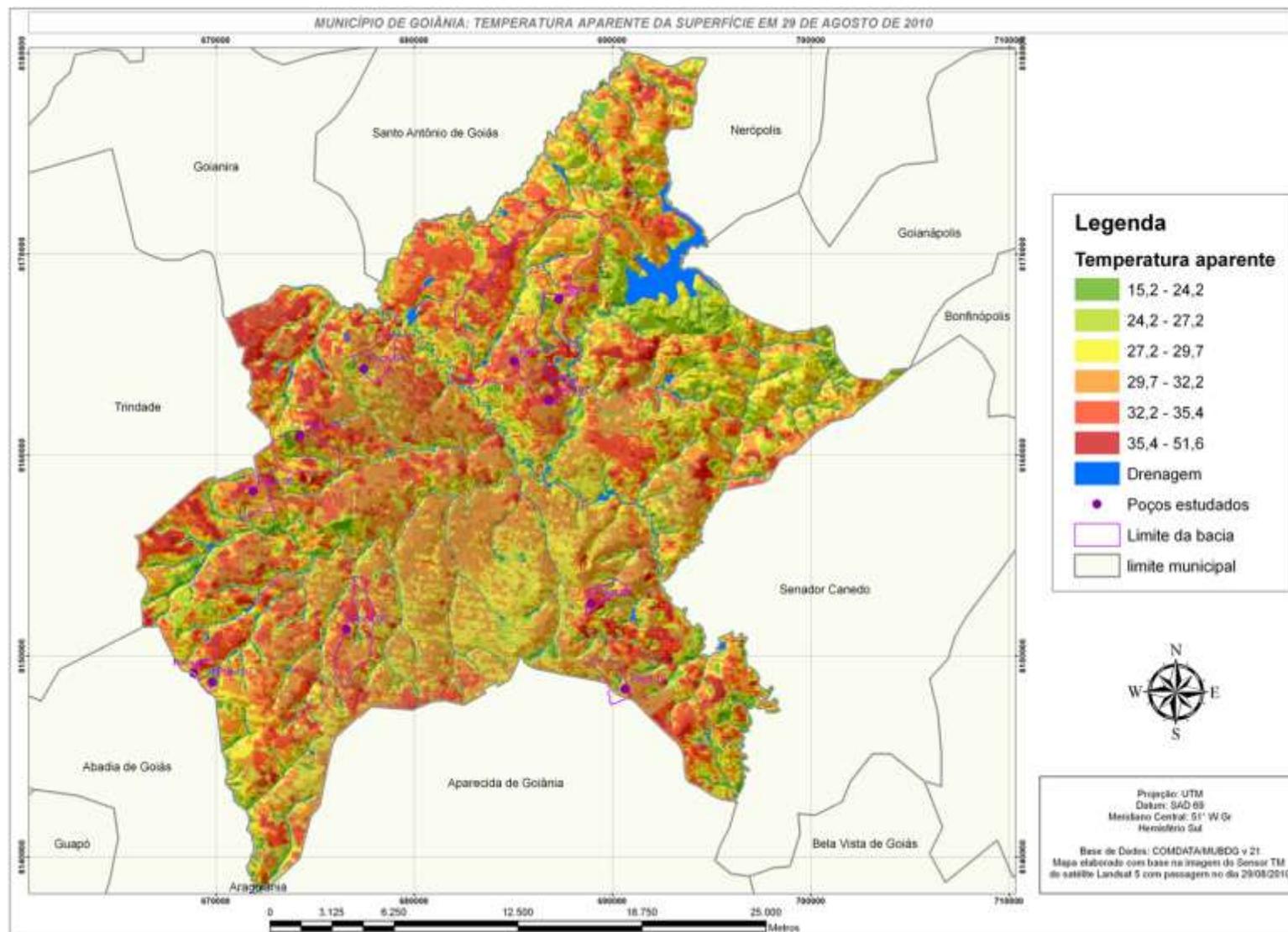


Figura 4.18 – Temperatura aparente da superfície (°C) no Município de Goiânia-GO em 29/08/2010.

Tabela 4.10 – Coincidência espacial entre uso e cobertura do solo com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 29/08/2010.

Uso e cobertura do solo (%)	Temperatura (°C)					
	15,2 – 24,2	24,2 – 27,2	27,2 – 29,7	29,7 – 32,2	32,2 – 35,4	35,4 – 51,6
Área Urbana	0,08	0,93	8,77	18,97	6,33	1,00
Solo Exposto	0,18	1,19	4,21	7,95	5,75	2,08
Agricultura	0,10	0,81	2,31	1,82	0,48	0,19
Pastagem	0,08	0,73	3,42	5,41	2,01	0,44
Vegetação Natural	2,33	7,99	7,64	3,71	1,22	0,29
Drenagem	0,66	0,43	0,34	3,71	0,22	0,01

As temperaturas intermediárias estão relacionadas principalmente às coberturas do sítio urbano. O fato de o centro mais densamente edificado apresentar, no período analisado, temperaturas inferiores em relação às áreas periurbanas é justificado não só pela influência do efeito de sombreamento das áreas edificadas (*sky view factor*) (Brandão, 1996) e pela orientação das ruas, que determina tanto a quantidade de energia incidente quanto as correntes de ventos que criam caminhos preferenciais segundo o sistema de arruamento dos centros urbanos, como também, pelo *efeito oásis/efeito park*, de acordo com Imamura-Bornstein (1991) e Mendonça (2009).

As áreas periurbanas são configuradas como áreas mais aquecidas que aquelas próximas ao próprio sítio urbano, principalmente na porção norte e oeste do município. Esse fato evidencia o papel do solo exposto e das áreas de pastagem na elevação da temperatura aparente de superfícies, por apresentarem elevado albedo e baixa inércia das superfícies de solo exposto e seco, como citam Imamura-Bornstein (1991) e Mendonça (1995). É possível observar que o estado do solo, a partir da variação de umidade entre os dois momentos em análise, influencia sobremaneira a variação da temperatura, expressa tanto pela amplitude térmica apresentada para os dois períodos, de até 29°C para o dia 12/07 de até 36,4°C para o dia 29/08, quanto pelo aumento em área de superfícies com temperaturas mais elevadas. Por outro lado, as elevadas temperaturas também influenciam a umidade do solo, ao permitirem perdas de umidade para a atmosfera, afetando também a umidade de equilíbrio do maciço.

Ao estabelecer comparação para o Município de Goiânia entre a temperatura aparente da superfície do terreno com a orientação das vertentes, podendo ser visualizado nas Tabelas 4.11 e 4.12, é relevante considerar, conforme exposto no Capítulo 3, que a disposição das faces das vertentes tem a seguinte distribuição preferencial: 45,81% orientam-se para norte,

nordeste e noroeste da área do município; 29,87% para sul, sudeste e sudoeste; 12,68% para leste, e 11,64% para oeste. Considerando as condições da atmosfera e a declinação solar do dia 12/07, pode ser observado que as classes inseridas no intervalo das temperaturas entre 12 e 23°C não apresentam diferenças expressivas em termos de área e posicionamento das faces das vertentes, atribuindo certa homogeneidade na relação orientação e dinâmica térmica da superfície.

Tabela 4.11 – Coincidência espacial entre orientação das vertentes com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em- Goiânia-GO, em 12/07/2010.

Orientação das vertente	Temperatura da Superfície (°C)				
	12,1 - 19,0	19,1 - 21,0	21,1 - 23,0	23,1 - 24,0	24,1 - 41,2
Norte	0,94	2,22	7,54	2,88	2,72
Nordeste	0,72	1,64	6,39	2,82	3,10
Noroeste	1,14	2,44	7,81	1,77	1,66
Leste	0,72	1,52	6,07	2,14	2,23
Sudeste	0,93	1,82	5,91	1,25	1,11
Sul	1,10	1,95	4,80	0,71	0,67
Sudoeste	1,17	2,14	5,06	0,71	0,55
Oeste	1,14	2,35	6,26	1,03	0,87
Total (%)	7,86	16,08	49,84	13,31	12,91

Tabela 4.12 – Coincidência espacial entre orientação das vertentes com a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 29/08/2010.

Orientação das vertentes	Temperatura da Superfície (°C)					
	15,2-24,2	24,3-27,2	27,3-29,7	29,8-32,2	32,3-35,4	35,5-51,6
Norte	0,40	1,41	3,59	6,93	3,03	0,95
Nordeste	0,33	1,27	2,76	6,45	3,06	0,80
Noroeste	0,44	1,63	4,31	5,77	2,15	0,54
Leste	0,36	1,26	2,74	5,21	2,45	0,65
Sudeste	0,52	1,55	3,17	3,92	1,51	0,36
Sul	0,46	1,64	2,95	2,92	1,05	0,19
Sudoeste	0,50	1,64	3,27	2,84	1,18	0,19
Oeste	0,43	1,67	3,91	3,93	1,38	0,33
Total (%)	3,44	12,07	26,7	37,97	15,81	4,01

A partir das temperaturas entre os valores de 23 a 41,2°C (Tabela 4.11), é detectada a coincidência espacial entre as temperaturas mais elevadas e a orientação das vertentes. As temperaturas mais elevadas ocorrem, principalmente, nas vertentes orientadas para norte, nordeste, noroeste e leste e, com menor expressão, em ordem decrescente, nas vertentes voltadas para sudeste, oeste, sul e sudoeste.

No dia 29/08 é observado que os intervalos atribuídos à classe entre as temperaturas 15 a 29,7°C também não indicam relação entre a temperatura aparente da superfície e a orientação das vertentes. É para as temperaturas entre os intervalos de 29 a 51,6°C que a temperatura aparente da superfície indica que os valores mais elevados ocorrem para as vertentes

posicionadas para norte, nordeste, noroeste, quando comparadas com as vertentes com orientação para sul, sudeste e sudoeste. É importante considerar que o relevo das áreas estudadas se apresenta suave/ondulado, com baixas declividades, inferiores a 8%. As temperaturas de superfícies indicando valores mais elevados e apresentando coincidência espacial, principalmente com as superfícies cuja orientação está voltada para norte, nordeste e noroeste, podem estar relacionadas à forte dependência com a cobertura do solo, especificamente aquelas com pastagem e solo exposto. A análise temporal ressalta o papel da sazonalidade climática. A análise espacial evidencia o papel do solo exposto e da pastagem na variação da temperatura de superfície para o Município de Goiânia.

Os estudos microclimáticos em solos tropicais permitem a caracterização da temperatura na fronteira solo-atmosfera. Esse atributo constitui-se em importante parâmetro na análise do comportamento dos solos tropicais. Sua importância é evidenciada principalmente quando são considerados o nível de intervenção antrópica e a alteração do balanço de energia entre a superfície e a atmosfera, intrínseco a essas intervenções.

4.2.2 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA APARENTE DE SUPERFÍCIES DO TERRENO (°C) PARA AS BACIAS E OS POÇOS ESTUDADOS: POSSÍVEIS RELAÇÕES COM A COBERTURA DO SOLO, ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES E TEMPERATURAS DO AR E DA SUPERFÍCIE DO SOLO (°C)

Esta subseção apresenta, especificamente para as bacias dos poços estudados, a variação da temperatura aparente da superfície em relação à cobertura do solo e à orientação das vertentes, obtidas a partir da tabulação cruzada, descrita no Capítulo 3. Também apresenta medidas de temperatura do ar e de superfícies e possíveis relações.

De acordo com os dados obtidos a partir da tabulação cruzada, a maior coincidência espacial das temperaturas mais baixas ocorre com a classe vegetação natural. Essa classe tem expressão em praticamente todas as bacias, representando entre 13% e 37% da área total. Exceção deve ser feita para as bacias onde estão localizados os Poços 2 e 6, cujas áreas compreendem entre 8% e 9,91% do total. Podem ser destacadas as bacias em que estão os Poços 4 e 8, os quais foram executados a uma distância aproximada de até 10 m da cobertura da vegetação natural. Por outro lado, a maior coincidência espacial das temperaturas mais elevadas ocorre com a cobertura do solo indicada por pastagem, solo exposto e área urbana, quando, juntas, indicam de 50 a 91% da área das bacias estudadas.

Considerando a relação entre os valores indicados para a temperatura aparente da superfície com a orientação das vertentes, conforme determinados pela tabulação cruzada e, ainda, com a cobertura do solo, é possível inferir que a cobertura do solo determinou os diferentes valores de temperatura. É possível observar que as bacias que apresentam vertentes com orientação principalmente para N, NE e NW, associadas com as áreas mais expressivas por coberturas do solo do tipo pastagem, solo exposto e área urbana, apresentam temperaturas mais elevadas, principalmente no dia 29/08/2010. Dentre os tipos de cobertura do solo classificados, é ressaltada principalmente a relação do solo exposto e da pastagem com os valores mais elevados de temperatura aparente da superfície.

Quanto ao local de execução dos poços, estes, em sua maioria, apresentam no dia 12/07 temperatura de superfícies em torno de 21 e 23°C, exceto os Poços 1, 2 e 7.1, cuja temperatura se apresenta entre 24 e 42°C, e o Poço 7, com valores situados entre 19 e 21°C. No dia 29/08, os poços apresentam temperatura de superfícies com variações entre 27 e 35°C, das quais os menores valores estão associados à cobertura do solo por gramínea “invasora” e vegetação natural alterada, conforme pode ser visto na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 – Coincidência espacial entre cobertura do solo e a temperatura aparente da superfície do terreno (°C) em Goiânia-GO, em 12/07 e 29/08/2010.

Poço	Orientação das vertentes	Uso e cobertura do solo	Temperatura aparente da superfície (°C)	
			12/07	29/08
1	SW	Pastagem	24,1-41,2	29,7-32,2
2	NE	Pastagem	24,1-41,2	32,2-35,4
3	NW	Pastagem	21,1-23,0	32,2-35,4
4	E	Vegetação natural alterada	21,1-23,0	29,7-32,2
5	SE	Pastagem	21,1-23,0	32,2-35,4
6	SW	Gramínea “invasora”	21,1-23,0	29,7-32,2
7	N	Pastagem/pomar	19,1-21,0	27,2-29,7
7.1	NE	Pastagem	24,1-41,2	29,7-32,2
8	NE	Gramínea “invasora”	21,1-23,0	24,2-27,2
9	SE	Vegetação natural alterada	21,1-23,0	29,7-32,2
10	NW	Pastagem	21,1-23,0	32,2-35,4

Foram realizadas medidas *in situ* da temperatura do ar e da superfície durante a execução dos ensaios de infiltração, descritos no Capítulo 3, de forma a estabelecer comparação com as informações obtidas pelas imagens termais. Essas medidas não tiveram padronização de horário, dados os objetivos e a logística desses ensaios. As medidas de temperatura do ar foram confrontadas com a temperatura aparente da superfície, de forma a estabelecer correlação entre a temperatura do ar e da superfície, conforme sugestão de Imamura-Bornstein (1991). São apresentados os resultados obtidos apenas para as medidas realizadas durante as

atividades de campo entre 23 de agosto e 6 de setembro/2010, uma vez que, durante a atividade de campo realizada em julho, houve problemas de ordem técnica com o termohigrômetro e não foi possível a realização das leituras.

A estabilidade atmosférica foi mantida no decorrer da realização das atividades de campo, dada pela condição sinótica predominante e atuante durante o período. Segundo informações do INMET, entre 23 de agosto e 6 de setembro/2010, a temperatura do ar apresentou, em média, variações entre 28 e 31°C, a umidade relativa do ar ficou entre 60 e 46%, e a direção dos ventos foi, preferencialmente, norte-nordeste (NNE) e sul-sudeste (SSE). A Tabela 4.14 apresenta para cada poço os valores da temperatura do ar e de superfície obtidas em campo durante a realização dos ensaios de campo, descritos no Capítulo 6, realizados entre os dias de 23 de agosto a 6 de setembro/2010 e a temperatura aparente da superfície, obtida a partir da imagem termal.

Tabela 4.14 – Temperatura aparente da superfície do terreno; medidas das temperaturas do ar e da superfície do terreno obtidas *in situ* em agosto/setembro/2010, em Goiânia-GO.

Poço	Elevação (m)	Hora da Leitura	Temperatura do ar (°C)	Temperatura de superfície (°C)	Temperatura aparente de superfície (°C)
1	795	09:00	28,6	25,5	29,7 – 32,2
		14:40	31,5	33,5	
		11:40	35,7	37,5	
2	754	13:30	41,3	45,5	32,2 – 35,4
3	771	13:20	39,8	s/ informação	32,4 – 35,4
		15:00	35,7	48,5	
4	808	10:00	31,2	24,5	29,7 – 32,2
		12:00	33,4	31,5	
		14:05	39,2	s/ informação	
		15:35	38,9	s/ informação	
		16:40	37,3	s/ informação	
5	876	09:00	24,8	27,5	32,2 – 35,4
		11:00	32,1	s/ informação	
		13:30	32,2	38,5	
		15:15	32,1	s/ informação	
6	833	08:00	23,3	24,5	29,7 32,2
		09:40	27,8	s/ informação	
		10:40	29,9	31,5	
		12:00	36,9	s/ informação	
		14:00	37,4	s/ informação	
		15:00	37,4	s/ informação	
7.1	889	09:00	26,9	25,5	32,2 – 35,4
		10:40	29,4	31,5	
		13:20	33,1	33,5	
8	796	08:20	24,5	24,5	24,2 – 27,2
		10:40	29,4	29,5	
		11:30	30,8	30,5	
		15:00	32,4	33,5	

		17,05	32,4	s/ informação	
9	825	09:53	29,8	24,5	29,7 32,2
		11:00	30,4	31,5	
		15:30	31,2	40,5	
10	781	13:00	35,1	35,5	32,2 – 35,4
		14:00	35,4	37,5	

Conforme pode ser observado, os poços com os menores valores de temperatura do ar foram os codificados com os números 5, 6, 7.1 e 8, do que se pode inferir a altitude do local, como fator do clima que, nessa escala de análise, influenciou as medidas da temperatura do ar. Quanto à temperatura aparente de superfície, é possível observar que há certa aproximação com os valores da temperatura medida na superfície do terreno. As diferenças observadas entre as informações podem estar associadas, principalmente, ao horário em que foram realizadas as leituras *in situ* e o intervalo de tempo necessário para interação da energia solar com a superfície, ou mesmo medidas realizadas após maior tempo de interação da energia, uma vez que a passagem do satélite na latitude de Goiânia ocorre aproximadamente às 10 h.

Segundo Silva & Santana (2007), as temperaturas captadas por um sensor entre 10 h e 11 h e entre 13 h e 14 h podem ser considerados para o restante do dia. Por outro lado, no solo superficial, Vidal & Perrier (1992) observam que as temperaturas de superfícies tendem a atingir os maiores valores entre, aproximadamente, 13 h e 14 h. Nesta pesquisa, foi observado que a temperatura na superfície apresenta variações positivas entre os horários de 11 h e 15 h. Esse aspecto permite inferir principalmente os fatores latitude, estabilidade atmosférica e cobertura do solo no aquecimento dessas superfícies.

Foram realizadas análises de regressão linear com o intuito de verificar as possíveis correlações entre temperatura do ar (°C), temperatura da superfície (°C) e temperatura aparente da superfície (°C). Conforme pode ser observado a partir da Figura 4.19, entre a temperatura do ar e a temperatura da superfície, ambas obtidas por meio de medidas *in situ*, o coeficiente de regressão linear indicou correlação, confirmando as sugestões de Imamura-Bornstein (1991) quanto às possibilidades de correlações. Foi feita a correção da temperatura aparente da superfície em relação ao horário da passagem do satélite por Goiânia, denominada de temperatura relativa aparente da superfície.

Ao se verificar a possível relação com a temperatura da superfície, observa-se, na Figura 4.20 (a), que o teste de regressão linear apontou para não correlação dos dados. Entretanto, a

Figura 4.20 (b) indica correlação para dados da temperatura relativa aparente da superfície e da temperatura da superfície conforme as distintas elevações do terreno, denominada de temperatura aparente relativa estimada da superfície. A implicação desses resultados é a possibilidade de previsão da temperatura do ar junto à superfície a partir de observações das temperaturas da superfície radiativa.

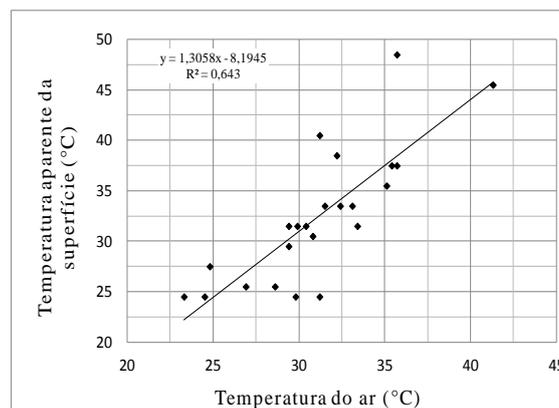


Figura 4.19 – Correlações entre as leituras *in situ* da temperatura da superfície (°C) versus temperatura do ar (°C) em Goiânia-GO, em agosto de 2010.

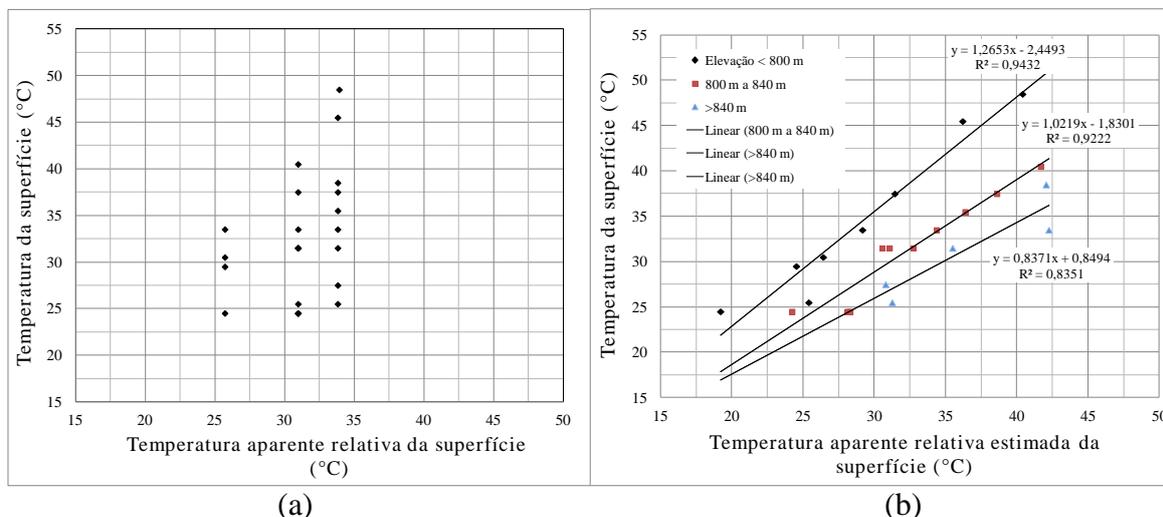


Figura 4.20 – Correlações: (a) temperatura da superfície versus temperatura aparente relativa da superfície (°C); (b) temperatura da superfície versus temperatura aparente relativa estimada da superfície (°C), corrigidas a insolação e elevação, em Goiânia-GO, em agosto de 2010.

Do exposto neste capítulo, é evidenciada a importância das análises dos parâmetros climáticos em diferentes níveis escalares e em correlação com outros parâmetros, como revelo e cobertura do solo. Para refinar os dados obtidos nos poços de análise, o capítulo seguinte trata da caracterização fisiográfica da área estudada, de modo a se entender a variação dos parâmetros que estão relacionados à variação da umidade.

5 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO DE GOIÂNIA, BACIAS E POÇOS ESTUDADOS

O presente capítulo apresenta a caracterização fisiográfica da região de Goiânia e das bacias dos poços. No primeiro momento, são apresentadas as características ambientais para a região de Goiânia, a partir de levantamentos de dados diretos e indiretos. No segundo momento, são descritas as características morfométricas das bacias, onde estão situados os poços estudados.

5.1 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA REGIÃO DE GOIÂNIA

Nesta subseção é apresentada as características geoambientais do Município de Goiânia no que se refere à geologia, ao relevo (orientação das vertentes e declividades), às características do clima, à vegetação natural e o uso e ocupação do solo. Na sequência, é apresentada os aspectos fisiográficos da área da bacia hidrográfica onde encontram-se situados os Poços de 1 a 5. Também é apresentada as especificidades de cada poço quanto aos parâmetros morfométricos e cobertura do solo.

5.1.1 - ASPECTOS LITOLÓGICOS

A geologia correspondente à região de Goiânia é representada principalmente pelo Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu, no setor setentrional, e pelo Grupo Araxá, no trecho meridional, ambos de idade Proterozóica, conforme apresentado na Figura 5.1. Indistintamente, sobre essas unidades, ao longo das planícies do rio Meia Ponte e do ribeirão Anicuns, unidades litológicas mais recentes são representadas por aluviões, segundo Campos et al. (2003) e IBGE (1999).

A composição litológica do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu indica rochas submetidas a médio e alto grau de metamorfismo, que são principalmente granulitos anfíbolitos, granulitos bandados e granulitos paraderivados. As rochas pertencentes ao Grupo Araxá são basicamente xistos, micaxitos e quartzitos micáceos, de acordo com Campos et al. (2003) e IBGE (1999). Os poços 1, 2, 3, 4, 5 e 6 estão sobre substrato rochoso composto por granulitos anfíbolitos, exceto o Poço 5, correspondente aos granulitos bandados. Os poços 7, 7.1, 8, 9 e 10 estão sobre substrato rochoso de xistos e quartzitos micáceos.

5.1.2 - CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

De acordo com Monteiro (1968), as características climáticas do Município de Goiânia,

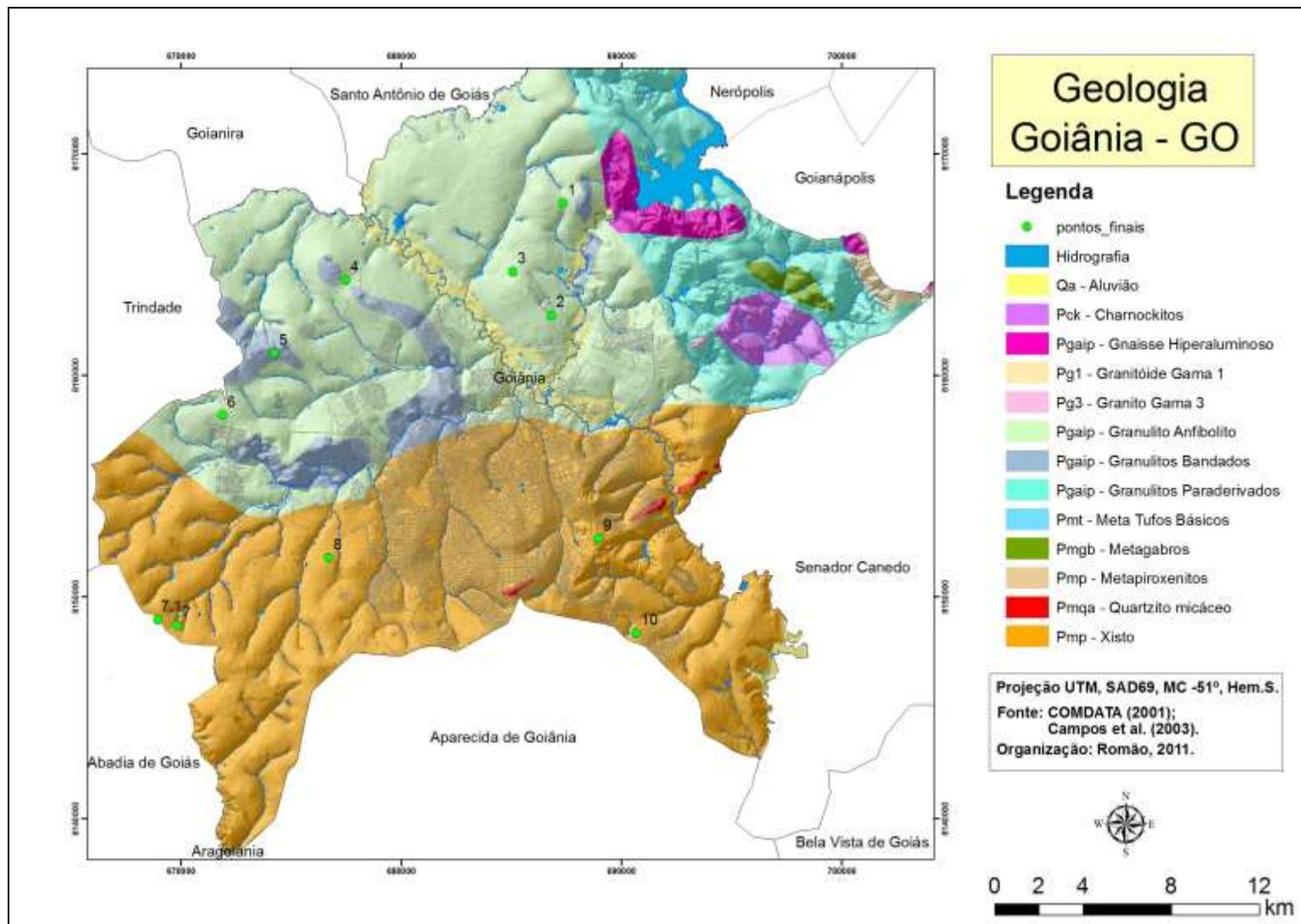


Figura 5.1 – Mapa Litológico do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise.

descritas mais detalhadamente no Capítulo 2, devem-se principalmente às influências da atuação dos centros de ação inter e extratropicais da América do Sul. Esses sistemas, individualizados como massas de ar e associados aos fatores físicos-geográficos, conferem à Goiânia características climáticas do tipo subúmido, definindo sazonalidade com: verão quente e chuvoso; outono como período de transição para o período seco e temperaturas baixas; inverno como período marcado pelas quedas na temperatura, baixa umidade relativa, elevadas amplitudes térmicas e praticamente ausência de precipitações; primavera como período marcado por temperaturas elevadas e início das precipitações. Essas subdivisões das estações climáticas são popularmente reunidas em duas estações: chuvosa e seca.

A sazonalidade climática de Goiânia é justificada devido à direção dos ventos durante o ano. Casseti (1991) observou que, de maio a outubro, predominam os ventos de leste e sudeste, as ingressões assumem proporções máximas nos meses de junho, com 26,59% em relação ao quadrante sudeste, e, em julho, 46,28% do quadrante leste, com pouca expressividade durante o resto do ano. Sob o domínio desses ventos, a cidade de Goiânia apresenta condições atmosféricas de estiagem prolongada. Como consequência dessa estiagem, a amplitude térmica pode atingir valores superiores a 10°C; a precipitação mensal, inferiores a 10 mm, e a umidade relativa do ar, inferiores a 20%, de acordo com o IBGE (1999).

Especificamente os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro apresentam as maiores taxas de incidência de radiação solar e de evaporação, e os ventos apresentam em média maior velocidade, sob o domínio dos fluxos de leste e sudeste. Para Casseti (1991), nos meses de outubro a março há um franco domínio dos fluxos de ventos de NW e N, representando as incursões dos sistemas perturbadores oriundos da região norte do país, o que provoca instabilidade atmosférica e ocorrência das precipitações.

Os meses de maior oferta pluviométrica ocorrem entre dezembro e março, com precipitação média mensal acima de 250 mm, de acordo com IBGE (1999) e SEPLAN (2002). Entre abril e setembro, correspondente à estação seca, a precipitação média dos meses menos chuvosos, junho a agosto, é inferior a 10 mm. Esse mesmo período representa baixos índices de umidade relativa, com índices inferiores a 20%. As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de setembro, outubro e novembro, com médias entre 29°C e 31°C. Os meses mais frios correspondem aos meses de junho e julho, com médias entre 13°C e 18°C, segundo IBGE (1999).

5.1.3 - CARACTERÍSTICAS DO RELEVO

No que se refere aos aspectos do relevo, é importante considerar que Goiânia é cortada no sentido noroeste a sudeste pelo rio Meia Ponte, o qual juntamente com os seus tributários responde pela esculturação recente do relevo. Conforme o grau de dissecação, Casseti (1992) classifica o relevo de Goiânia em cinco unidades morfológicas: Planalto Dissecado de Goiânia, Planalto Embutido de Goiânia, Chapadas de Goiânia, Terraços e Planícies Fluviais, que podem ser visualizadas a Figura 5.2.

A unidade designada Planalto Dissecado de Goiânia é encontrada na porção nordeste e apresenta altitudes entre 800 e 900 m, caracterizada por formas aguçadas e declives superiores a 30%. Na porção sudoeste, a unidade Chapadões de Goiânia apresenta altitudes que variam de 860 a 900 m e declividades normalmente inferiores a 10%. Essa unidade de Chapadas apresenta superfícies elevadas que “coalecem com as rampas de pedimentos coluvionados em direção aos vales”, de acordo com IBGE (1999), caracterizadas por vertentes retilíneas ou relativamente concavizadas. A unidade Planalto Embutido de Goiânia é encontrada entre as Chapadas e o Planalto Dissecado de Goiânia e apresenta formas suaves ou levemente convexizadas, com altitudes que variam de 750 a 800 m. Associados ao rio Meia Ponte, ocorrem os Terraços e as Planícies Fluviais, com altitudes variando de 700 a 720 m, segundo Casseti (1992) e IBGE (1992).

Quanto às características do relevo referente às áreas onde estão situados os poços, na porção setentrional, os poços 1, 2, 3, e 10 estão sobre a superfície denominada de Planalto Embutido de Goiânia, em declividades de 0 a 5%. Já os poços 4, 5, 6, 8,9 situam-se na mesma unidade, com predomínio de declividades entre 5 e 10%. Nessa unidade, Casseti (1992) indica o predomínio de escoamento laminar. Os poços 7 e 7.1 estão sobre os Chapadões de Goiânia, em Superfícies Aplainadas e mais elevadas, sustentadas basicamente pela presença da laterita. Nessa unidade, é indicado que a infiltração ocorre em maior quantidade e que o escoamento é difuso. O modelo gerado para o atributo declividade sugere preferencialmente declividades inferiores a 11%, para aproximadamente 85% da área, conforme apresentado na Tabela 5.1. As declividades mais acentuadas ocorrem associadas ao Planalto Dissecado de Goiânia, principalmente na porção norte, nordeste e em vertentes isoladas na porção centro-oeste. A Figura 5.3 mostra que, nas porções sudeste e sudoeste, vinculam-se à drenagem. Os poços estão em vertentes com declividades até 11%.

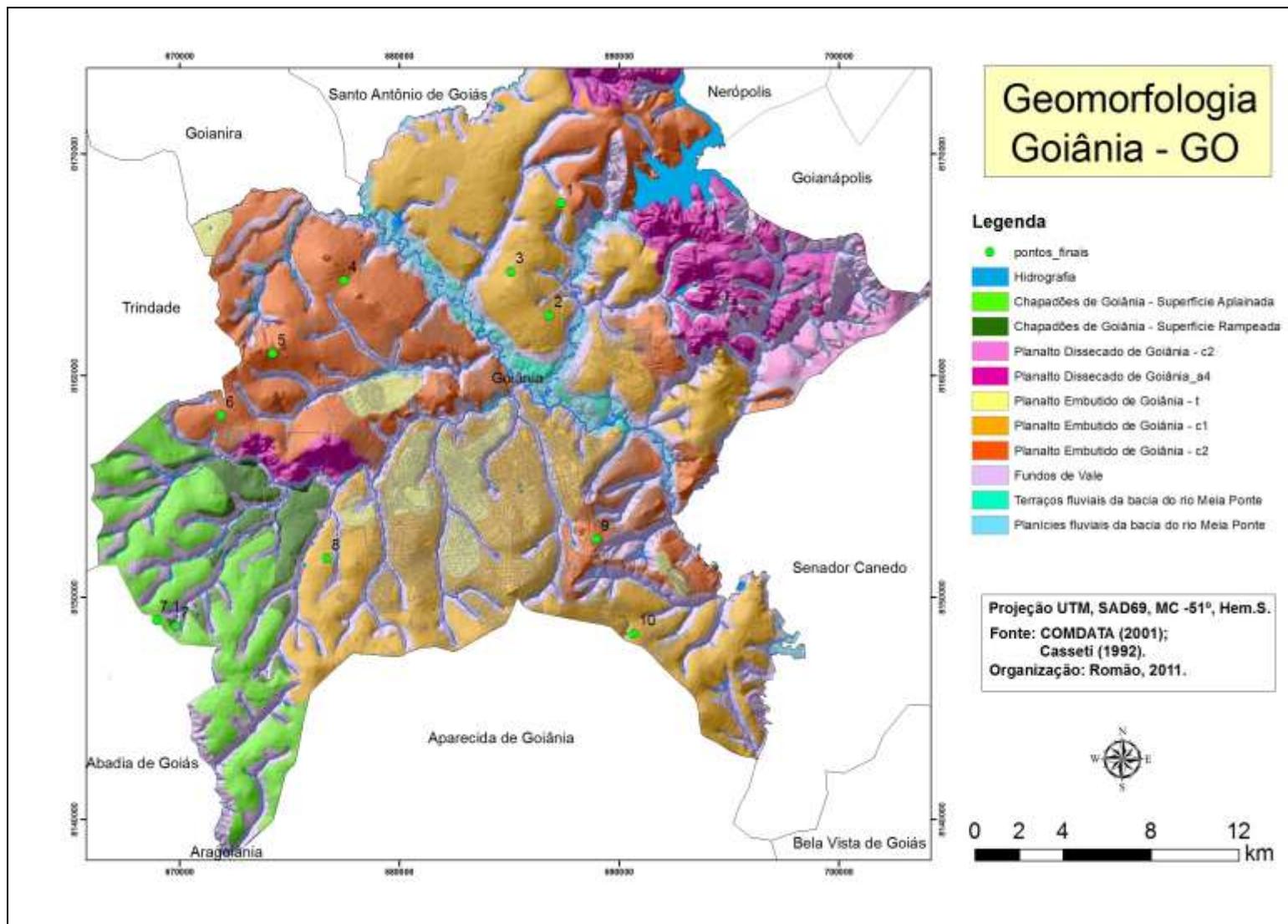


Figura 5.2 – Mapa Geomorfológico do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise.

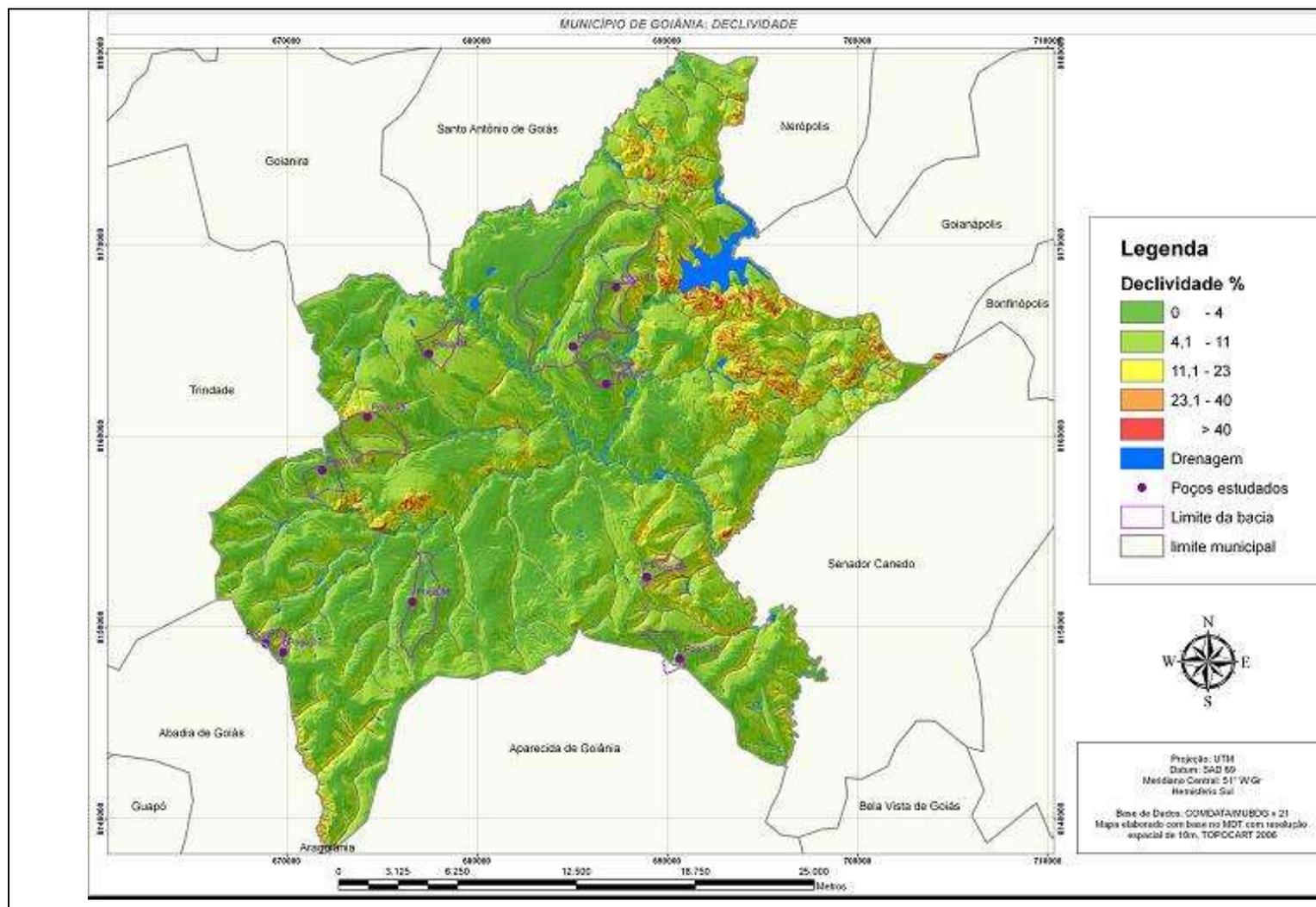


Figura 5.3 – Carta de Declividades do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise.

Quanto ao modelo de orientação de vertentes, no Município de Goiânia, incluindo os pontos colaterais e subcolaterais, há o predomínio das vertentes com faces voltadas para o norte, em aproximadamente 46%; em 30% para o sul; em 13% para o leste e em 12% para o oeste, conforme apresentado na Tabela 5.2. Na Figura 5.4, pode ser observado que, na margem esquerda do rio Meia Ponte, sobressaem-se as vertentes direcionadas para sul, sudoeste e oeste. Na margem direita desse rio, predominam as vertentes com orientação para norte, nordeste, noroeste e sudeste. Como as orientações das vertentes dos poços estudados são diversificadas, essa descrição é apresentada por bacias na seção 5.2.

Tabela 5.1 – Declividades relativas do Município de Goiânia-GO.

Declividade	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 4,0	27.600,98	37,99
4,1 – 11,0	34.049,32	46,87
11,1 – 23,0	8.771,21	12,07
23,1 – 40,0	1.903,73	2,62
> 40,0	325,92	0,45
Área total	72.651,61	100,00

Tabela 5.2 – Orientação das vertentes relativas do Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 0 – 22,5	5.798,96	7,98
Nordeste – 22,5 – 67,5	10.664,36	14,68
Leste – 67,5 – 112,5	9.211,58	12,68
Sudeste – 112,5 – 157,5	8.007,44	11,02
Sul – 157,5 – 202,5	6.699,27	9,22
Sudoeste – 202,5 – 247,5	6.994,60	9,63
Oeste – 247,5 – 292,5	8.459,25	11,64
Noroeste – 292,5 – 375	10.777,07	14,83
Norte – 375 - 360	6.038,64	8,31
Área Total	72.651,61	100,00

5.1.4 - CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Campos et al. (2003), a partir da Classificação de Solos desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (1999), utilizou apenas dois dos primeiros seis níveis categóricos apresentados pela referida classificação, para Goiânia. O primeiro nível, ordem, considera os fatores dominantes da gênese; o segundo nível, subordem, o clima, a posição topográfica, o material de origem ou a combinação deles. Os solos foram classificados, conforme Figura 5.5 como dos tipos: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-

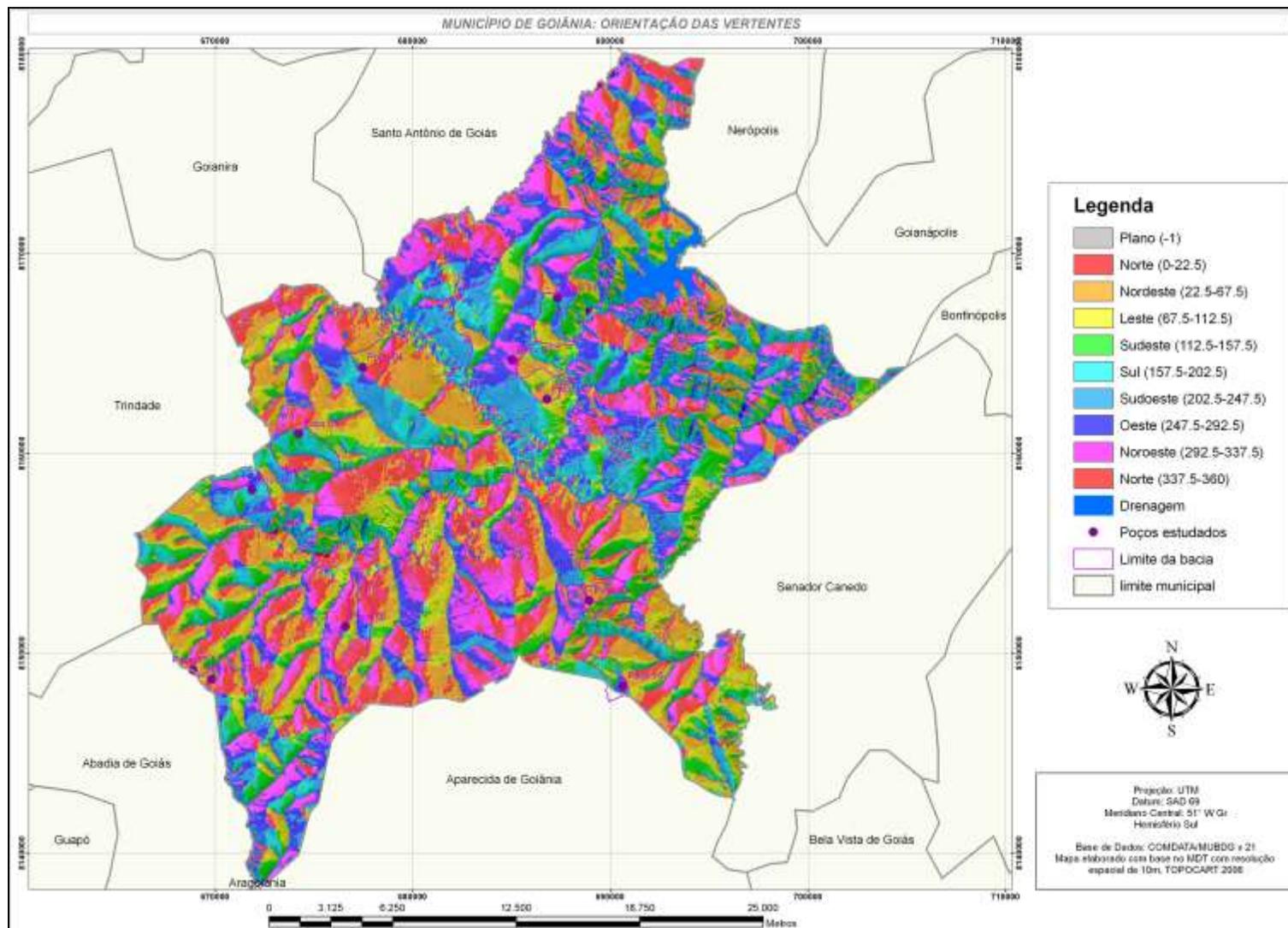


Figura 5.4 – Carta de Orientação das Vertentes do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise.

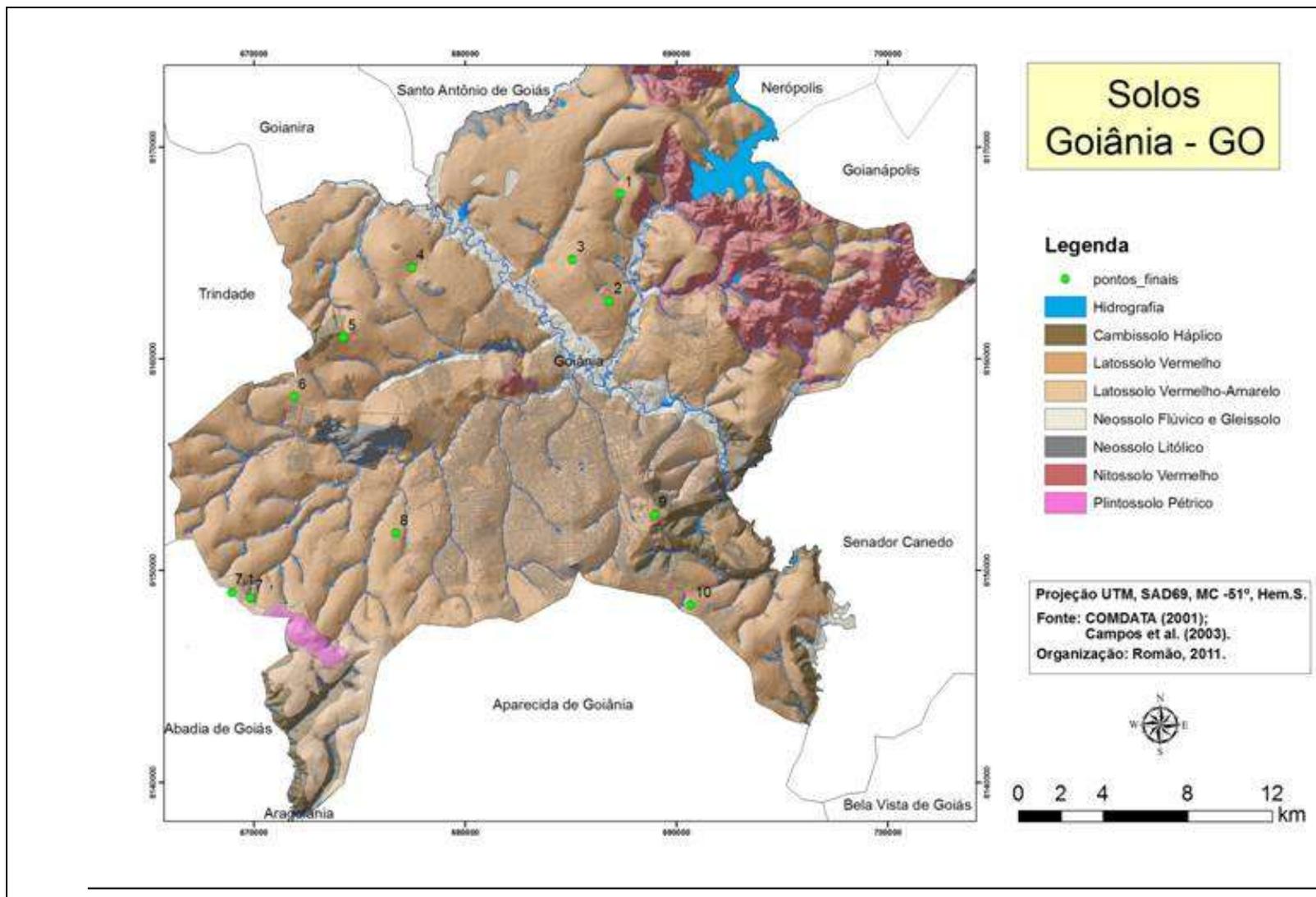


Figura 5.5 – Mapa de Solos do Município de Goiânia-GO e localização dos pontos de análise.

Amarelo (LVA), Nitossolo Vermelho (NV), Chernossolo Háplico, Cambissolo Háplico (Cb), Plintossolo Pétrico, Neossolo Litólico, Neossolo Flúvico e Gleissolo. Na Figura 5.5 pode ser vista a distribuição dos solos de Goiânia. Os poços situados na porção setentrional de Goiânia, 1, 2, 3, 4, 5 e 6, estão sobre Latossolo Vermelho (LV); os poços situados na porção meridional da cidade, 7 e 7.1, situam-se em áreas de solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), e os poços 8, 9 e 10, em solos do tipo Latossolo Vermelho (LV).

5.1.5 VEGETAÇÃO NATURAL, USO E COBERTURA DO SOLO

A vegetação natural original do Município de Goiânia era constituída por floresta, savanas (Cerrado) e áreas de transição. Atualmente se apresentam como remanescentes restritos e isolados, na forma de pequenos e médios capões nos interflúvios e ao longo dos cursos d'água. Conforme classificação fisionômica-ecológica do IBGE (1999), a vegetação do Município de Goiânia está inserida nas Regiões Fitoecológicas do tipo de Savana Arborizadas; Floresta Estacional Semidecidual; Floresta Estacional Decidual e Áreas de Tensão Ecológica.

Apesar de estarem situadas em áreas bastante antropizadas, foi possível inferir, por meio de observações em trabalho de campo, a vegetação natural anterior nas áreas de execução dos poços. Os poços 1, 3 e 4 estão situados em áreas de domínio da Floresta Estacional Semidecidual. Os poços 2, de acordo com Rizzo & Peixoto (1973), 6 e 7.1 estão localizados em área onde a vegetação natural original era do tipo Cerrado *stricto sensu*. Os poços 5 e 7 foram executados em áreas de domínio, respectivamente, das fitofisionomias de Cerradão e de Cerrado *stricto sensu*. O poço 8 situa-se em área de domínio do Cerradão, e os poços 9 e 10 estão inseridos em área cuja vegetação original era do tipo Cerrado *stricto sensu*.

Essas formações naturais, em conjunto com a malha urbana, com as pastagens e em segundo plano, com as culturas cíclicas compõem o quadro fisionômico da distribuição da vegetação natural e do uso do solo no município, conforme Figura 5.6. Conforme Tabela 5.3, observa-se que a malha urbana apresenta maior expressão em área, seguida da classe solo exposto e vegetação natural, pastagem e, em menor expressão, da agricultura e dos corpos hídricos. A maioria dos poços analisados está inserida em áreas de pastagens cultivadas (braquiara), com exceção do poço 8, onde ocorre gramínea do tipo invasora, e dos poços 4 e 9, associados à vegetação natural em estágio de recomposição. No poço 4, a vegetação está em recuperação para o tipo Floresta Estacional Semidecidual e, no poço 9, para o tipo Cerrado *stricto sensu*.

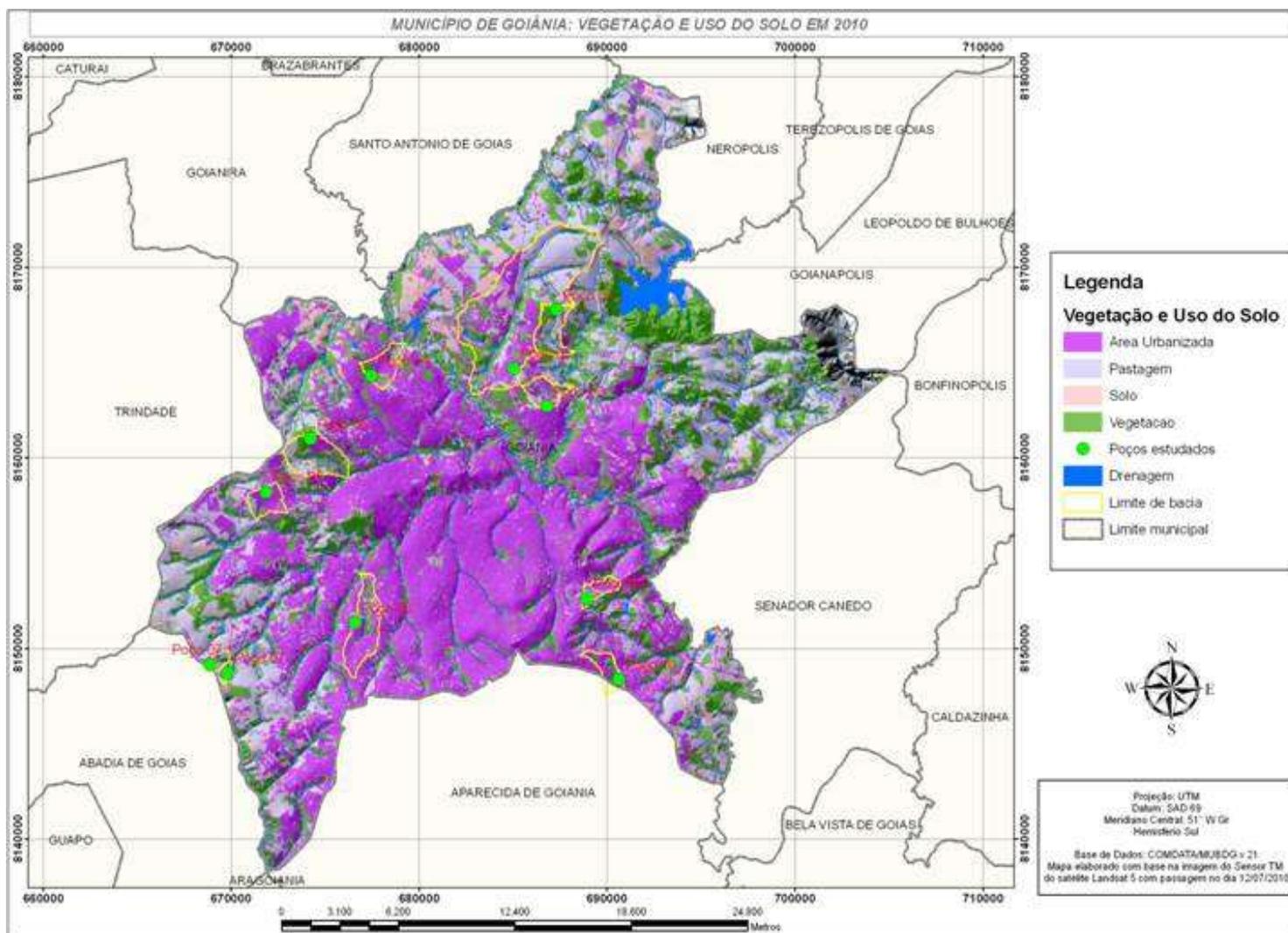


Figura 5.6 – Mapa de uso e cobertura do solo do Município de Goiânia-GO/2010 e localização dos pontos de análise.

Tabela 5.3 – Vegetação, uso e cobertura do solo no Município de Goiânia-GO em 2010.

Uso e ocupação do solo	Área (ha)	Área relativa (%)
Área urbana	26.223,72	36,10
Solo exposto	15.515,10	21,36
Pastagem	8,789,65	5,70
Vegetação natural	16.846,79	23,19
Corpos hídricos	1,134,47	1,56
Área total	72.651,61	100,00

5.2 - CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DAS ÁREAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS ONDE SE SITUAM OS POÇOS E DOS POÇOS ESTUDADOS

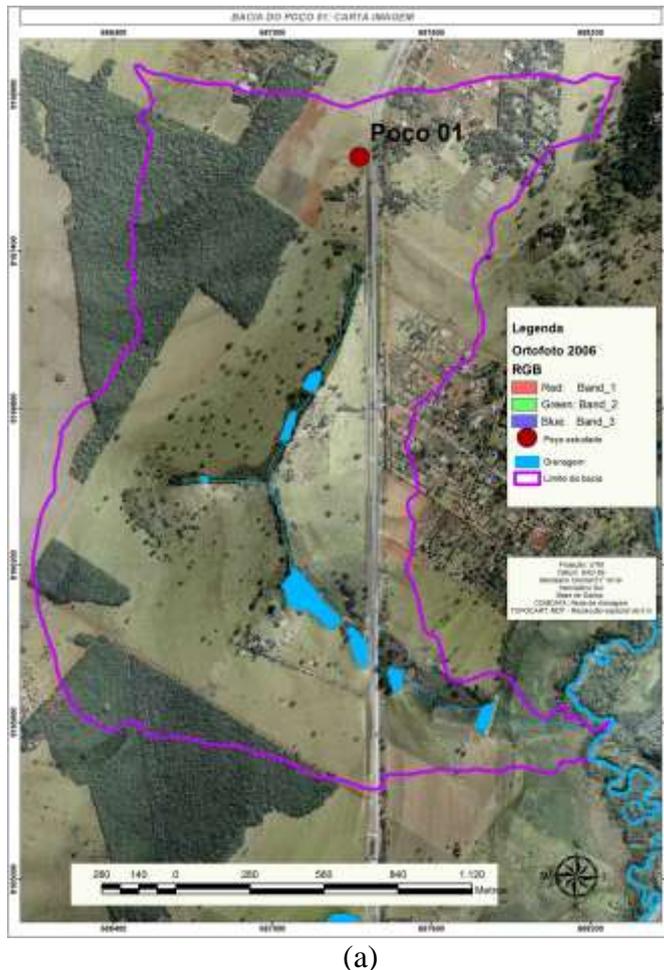
As áreas das bacias hidrográficas onde se situam os Poços 1,2, 3,4,5 e 6 são inseridas na porção norte e noroeste de Goiânia, sobre rochas granulíticas e solos do tipo Latossolo Vermelho. A vegetação natural é classificada como Floresta Estacional Semidecidual, exceto para os poços 2 e 5, onde há o predomínio do Cerrado *stricto sensu* e do Cerradão, respectivamente. Quanto à forma do relevo, estão situados principalmente sobre vertentes convexas, com baixas declividades e rampas extensas. Quanto ao padrão de drenagem, com exceção dos rios e ribeirões, os canais se apresentam bem encaixados, com poucas ramificações; quando estas ocorrem, os cursos são curtos em relação ao canal principal.

As bacias hidrográficas onde se encontram situados os Poços 7, 7.1, 8, 9 e 10 são inseridas na região meridional, sobre xistos e micaxistos e solos do tipo Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo. Quanto à vegetação natural, o poço 7 está relacionado às fitofisionomias do Cerrado *stricto sensu* com Cerradão; os poços 7.1, 9 e 10, ao Cerrado *stricto sensu*; o poço 8, ao Cerradão. O relevo nessa região é constituído por chapadas e por vertentes convexas, com baixas declividades e extensas rampas. Apresenta ainda um padrão de drenagem constituído também por canais encaixados, mais ramificados, com nascentes situadas próximas ao divisor de água e com ocorrência de áreas planas nos interflúvios, seguidas de rampas longas e suaves.

5.2.1 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA ONDE SITUA-SE O POÇO 1

O Poço 1, ilustrado na Figura 5.7 (a), (b) e (c), está situado próximo à rodovia estadual GO-

080. A bacia hidrográfica à qual o Poço 1 pertence apresenta área de 374,47 ha (3,74 km²), pertencente à bacia do ribeirão João Leite. A vegetação natural da microbacia é do tipo Floresta Estacional Semidecidual, mas o entorno do ponto selecionado à execução do poço destina-se à pastagem cultivada há aproximadamente 50 anos, segundo observação em campo.



(b)



(c)

Figura 5.7 – (a) Carta imagem da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 1.

O modelo hipsométrico indica variações altimétricas para a área da bacia entre 702,8 a 835,0 m, com amplitudes altimétricas muito grandes, segundo classificação do IBGE (1995), de até 133 m. Esse fato indica maior energia potencial relativa, para ocorrência de processos erosivos na bacia. O curso da drenagem dessa bacia encontra-se bem encaixado, com desnível de 60 m do poço até a drenagem, em 431 m ao longo do perfil de maior inclinação da vertente. A maior parte da bacia tem altitudes entre 737 e 811 m. O ponto onde o poço foi executado apresenta cota altimétrica de 795 m. A Tabela 5.4 e a Figura 5.8 (a) ilustram as informações apresentadas.

Tabela 5.4 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1 no Município Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
702,8 – 721,5	15,82	4,22
721,6 – 937,1	33,80	9,03
737,2 – 749,9	43,32	11,57
750,0 – 762,3	48,24	12,88
762,4 – 773,2	43,70	11,67
773,3 – 784,6	72,32	19,31
787,7 – 796,5	48,84	13,04
796,6 - 811,5	53,60	14,31
811,6 - 835	14,83	3,96
Área total	347,47	100,00

O canal de drenagem da bacia do Poço 1 possui direção aproximada norte-sul, o que reflete na orientação das vertentes, conforme Tabela 5.5 e Figura 5.8 (b). Especificamente, o ponto está inserido na porção da vertente cuja orientação é de SW. O modelo de declividade para a bacia do Poço 1 indica que 65,30% da área apresenta valores de declividade inferiores a 3,4%, como pode ser obtido na Tabela 5.6. Conforme pode ser observado da Figura 5.8 (c), as áreas com declividades mais acentuadas estão próximas ao canal de drenagem. No que se refere ao ponto do Poço 1, o modelo aponta declividade de 0,58%. As declividades no entorno do Poço 1 indicam que, neste ponto, a tendência é de aumento da infiltração em detrimento do escoamento superficial, uma vez que a velocidade do fluxo é relativamente menor em inclinações mais baixas.

Tabela 5.5 – Orientação das vertentes da área da bacia onde se encontra inserido o Poço 1 no Município Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	3,95	1,05
Nordeste – 22,5 – 67,5	39,18	10,46
Leste – 67,5 – 112,5	92,26	24,64
Sudeste – 112,5 – 157,5	90,40	24,14
Sul – 157,5 – 202,5	42,53	11,36
Sudoeste – 202,5 – 247,5	56,98	15,22
Oeste – 247,5 – 292,5	47,35	12,64
Noroeste – 292,5 – 337,5	1,83	0,49
Área Total	374,47	100,00

Quanto à curvatura do terreno, a maior parte da bacia apresenta predomínio de curvatura convexa, tanto em perfil como ao longo das curvas de nível (curvatura plana), de acordo com

os dados registrados na Tabela 5.7. Na margem direita, tanto para a curvatura do perfil quanto para a plana, há o predomínio da curvatura retilínea, desde o topo dos interflúvios até a meia vertente. A partir daí, há o predomínio da curvatura convexa até próximo ao canal da drenagem, onde se observa a curvatura côncava, conforme Figura 5.8 (d) e (e).

Tabela 5.6 – Declividades da área da bacia onde se encontra inserido o Poço 1 na bacia do Poço 1, no Município Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 1,8	108,40	28,95
1,9 – 3,4	136,13	36,35
3,5 – 5,6	75,15	20,07
5,7 – 8,2	34,10	9,11
8,3 – 11,8	15,22	4,06
11,9 – 18,1	4,80	1,28
18,2 – 30,6	0,69	0,18
Área total	347,47	100,00

Tabela 5.7 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1 no Município de Goiânia-GO.

Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	146,95	39,24
Retilínea	107,22	28,63
Côncava	120,30	32,13
Área total	374,47	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	191,68	51,19
Retilínea	114,81	30,66
Côncava	67,99	18,16
Área total	374,47	100,00

A margem esquerda apresenta uma vertente mais curta ao longo da linha de maior inclinação. Ao longo da curva de nível dessa margem, sobressai-se a curvatura plana convexa, exceto a montante onde ocorre também a retilínea. Nessa margem, a forma da vertente associada ao fato de esta apresentar vertente mais curta ao longo do perfil indica tendência no aumento do escoamento superficial. No modelo da curvatura plana, de acordo com a Figura 5.8 (e), é observado que, junto ao canal de drenagem, há o predomínio da curvatura côncava e, próximo à cabeceira, a característica de anfiteatro (embaciamento).

O modelo aponta, para o entorno do Poço 1, que a curvatura plana é convexa, indicando dispersão do fluxo, e que a curvatura ao longo da linha de maior inclinação é côncava, indicando aceleração do fluxo nesse entorno.

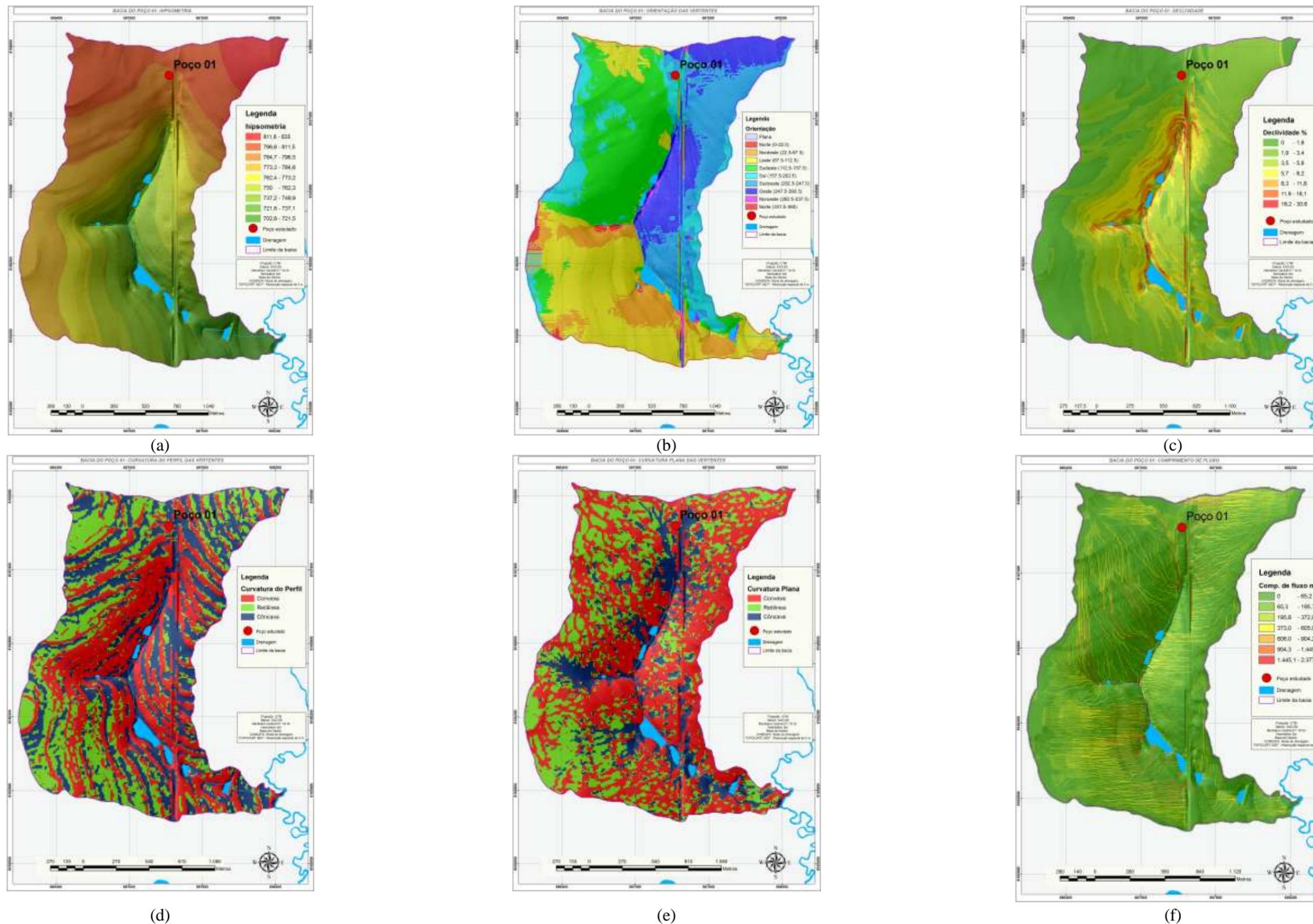


Figura 5.8 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil (ao longo da linha de maior inclinação); (e) curvaturas planas (ao longo das curvas de nível) e (f) comprimentos de fluxo.

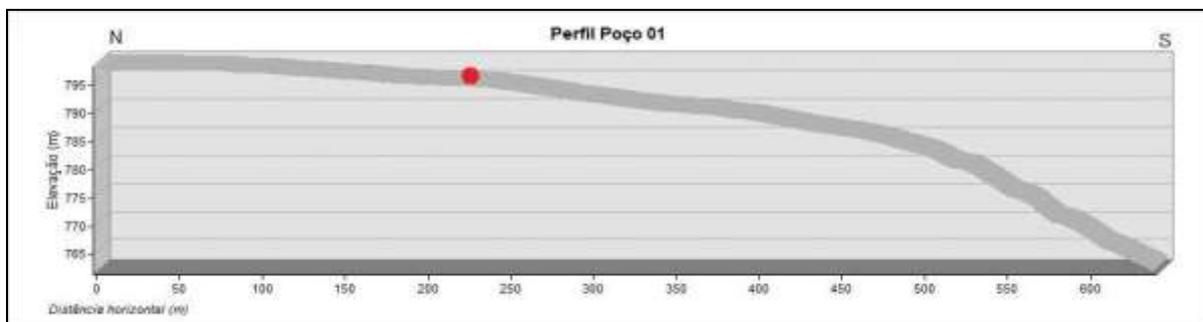
O modelo indica que a área da bacia apresenta comprimento de fluxo entre 0 e 65,2 m para 62% da área, como apresentado na Tabela 5.8 e na Figura 5.8 (f). O Poço 1 está inserido nessa classe, do que é possível destacar os curtos comprimentos percorridos pela água de escoamento superficial em vertente com baixas declividades nas proximidades.

Tabela 5.8 – Comprimentos de fluxo: área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 1 no Município de Goiânia-GO.

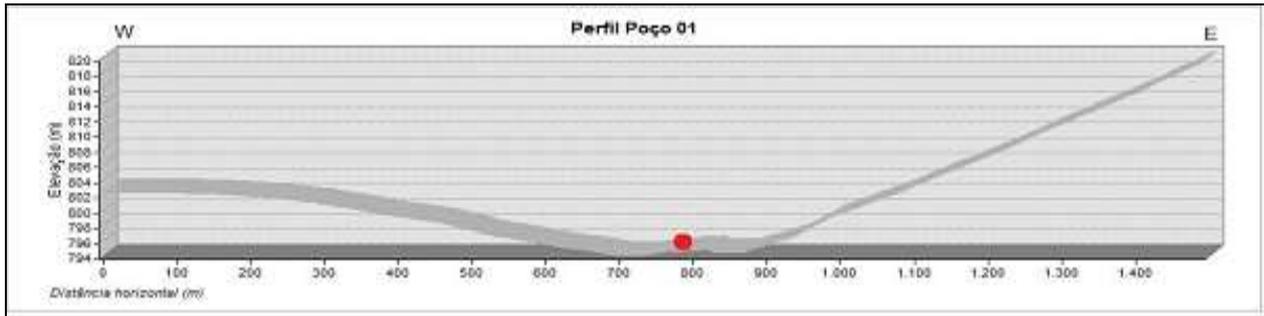
Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 65,2	232,31	62,04
65,3 – 195,7	75,15	20,07
195,8 – 372,9	34,97	9,34
373,0 – 605,9	18,30	4,89
606,0 – 904,2	10,01	2,67
904,3 – 1445,0	3,25	0,87
1445,1 – 2377,3	0,48	0,13
Área Total	374,47	100,00

A partir de perfis traçados nas direções N-S e W-E, conforme ilustrado na Figura 5.9 (a) e (b), incluindo o ponto referente ao Poço 1, observa-se, na primeira direção, o predomínio de curvatura convexa, da montante até a cabeceira da drenagem. Ao longo da direção W-E, forma-se um vale assimétrico, estando o ponto estudado situado na parte mais baixa.

Quanto ao fluxo da água, é possível inferir (Figura 5.11 (f)), que a infiltração nessa bacia hidrográfica é maior que o escoamento e pode ocorrer material inconsolidado transportado nesse ponto, pela desaceleração do fluxo ao longo da curvatura côncava do perfil.



(a)



(b)

Figura 5.9 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 1 (em vermelho): (a) direção norte-sul e (b) direção leste-oeste.

5.2.2 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 2

De acordo com Fitz (2008), os divisores das bacias são definidos a partir das curvas de nível. Para a bacia do Poço 2, existem algumas vertentes convexas na meia vertente. Além disso, alguns canais de drenagem são intermitentes e o fluxo da água em superfície parece ter sido alterado artificialmente. Há necessidade de estudos detalhados nessa bacia, para se entenderem melhor os fluxos de água de subsuperfície. A bacia hidrográfica onde se encontra posicionado o Poço 2 localiza-se na porção norte de Goiânia, no bairro Itatiaia, entre o meio urbano e o rural, ilustrado pela Figura 5.10. Inserido na bacia do ribeirão João Leite, apresenta área de 247,35 ha (2,47 km²). Sua cabeceira apresenta configuração de anfiteatro e o curso da drenagem é bem encaixado até meia vertente, com desníveis de até 37 m, e da meia vertente à jusante, com desníveis de até 9,73 m. A vegetação natural é tipo Floresta Estacional a montante do poço e na cabeceira; ao longo do curso da drenagem, a vegetação é do tipo ciliar; especificamente no ponto do Poço 2, havia o predomínio de Cerrado *stricto sensu*, conforme Rizzo & Peixoto (1973).

Ocorrem lagoas intermitentes na cabeceira e no meio do curso e represa à jusante. A drenagem é canalizada sob a Avenida. Planície e depois flui em superfície até o ribeirão João Leite. O Poço foi executado em área de pastagem cultivada há aproximadamente 50 anos. Conforme visualizado na Figura 5.11 e de acordo com os dados da Tabela 5.9, o modelo hipsométrico mostra, para a área da bacia hidrográfica onde está inserido o Poço 2, variações altimétricas entre 698,5 a 787,4 m, com amplitudes altimétricas de até 88,9 m, consideradas grandes, de acordo com os critérios do IBGE (1995).

As amplitudes configuram extensa rampa, com difícil definição dos divisores laterais da

bacia. A maior parte tem altitudes entre 731 e 776 m; no Poço 2, o modelo aponta 754 m (Figura 5.11 (a)).



(a)



(b)

Figura 5.10 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) localização do Poço 2.

Tabela 5.9 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
695,5 – 709,7	8,84	3,57
709,8 – 720,8	18,96	5,66
720,9 – 730,9	16,57	6,70
731,0 – 740,7	34,33	13,88
740,8 – 749,4	46,57	18,83
749,5 – 758,4	42,92	17,35
758,5 – 767,5	38,28	15,47
767,6 – 776,9	25,05	10,13
777,0 – 787,4	15,84	6,41
Área total	247,35	100,00

A Tabela 5.10 indica a orientação das vertentes da bacia onde o Poço 2 situa-se e, como registrado na Figura 5.11(b), o canal de drenagem possui direção SW-NE. O Poço 2 está posicionado na vertente cuja orientação é de NE. Quanto ao modelo de declividades, de acordo com a Tabela 5.11, 94,58% da área apresenta declividades inferiores a 8,4%. Observa-se, na Figura 5.11 (c), que as áreas com declividades mais acentuadas ocorrem próximo ao canal de drenagem. No entorno do Poço 2, a declividade é de 4%.

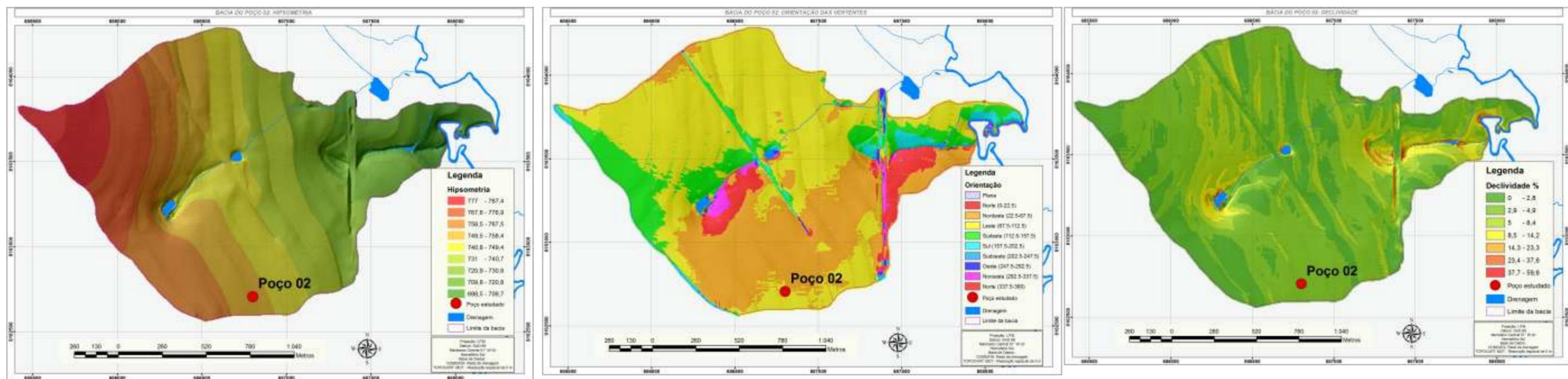
Tabela 5.10 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	13,40	5,42
Nordeste – 22,5 – 67,5	71,30	28,83
Leste – 67,5 – 112,5	118,72	48,00
Sudeste – 112,5 – 157,5	32,31	13,06
Sul – 157,5 – 202,5	6,13	2,48
Sudoeste – 202,5 – 247,5	0,92	0,37
Oeste – 247,5 – 292,5	1,05	0,42
Noroeste – 292,5 – 337,5	3,52	1,42
Área Total	247,35	100,00

Tabela 5.11 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 - 2,8	65,30	26,40
2,9 – 4,9	124,60	50,37
5,0 – 8,4	44,06	17,81
8,5 – 14,2	9,84	3,98
14,3 – 23,3	2,75	1,11
23,4 – 37,6	0,70	0,28
37,7 – 59,6	0,11	0,04
Área total	247,35	100,00

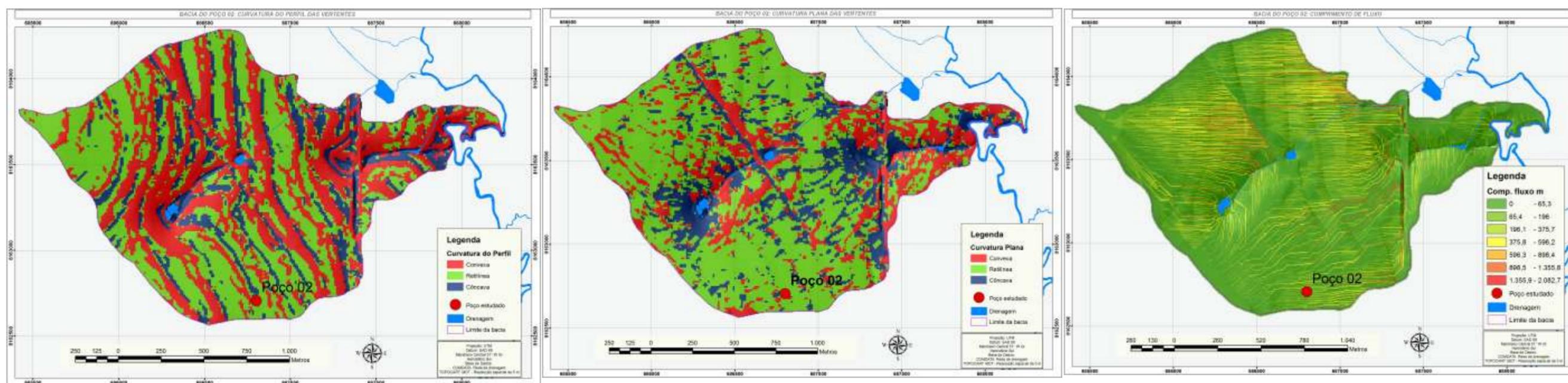
Quanto à curvatura, o modelo indica, para a área da bacia, o predomínio das curvaturas convexa e retilínea em perfil, desde a montante até o baixo curso da vertente. A partir daí, até o ribeirão João Leite ao longo das curvas de nível, a curvatura retilínea ocorre próximo ao interflúvio até a baixa vertente. A Tabela 5.12 e a Figura 5.11 (d) confirmam as afirmações apresentadas. Junto às cabeceiras de drenagem, ocorrem formas de anfiteatro, conforme mostra a Figura 5.11 (e). No ponto onde o Poço 2 foi executado, o modelo indica tanto em



(a)

(b)

(c)



(d)

(e)

(f)

Figura 5.11 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

perfil, quanto ao longo da curva de nível, curvatura côncava, mas provavelmente isso não indica alta concentração, pois os valores de declividades próximo ao ponto são baixos.

Tabela 5.12 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO.

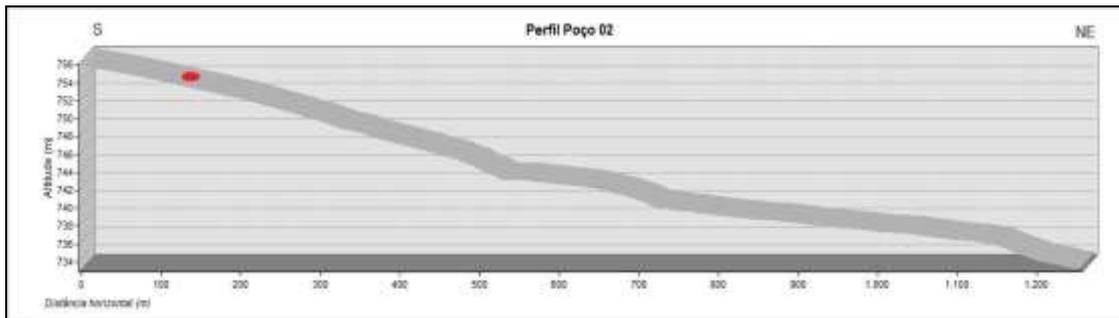
Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	103,15	41,70
Retilínea	102,80	41,56
Côncava	41,40	16,74
Área total	247,35	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	55,57	22,47
Retilínea	141,91	57,37
Côncava	49,87	20,16
Área total	247,35	100,00

De acordo com a Tabela 5.13, complementada pela Figura 5.11 (e), a área da bacia apresenta comprimento de fluxo com maior expressão entre 0 a 65,3 m, correspondente a aproximadamente 59% da área. No entorno do Poço 2, o comprimento de fluxo está entre 196,1 a 375,7 m.

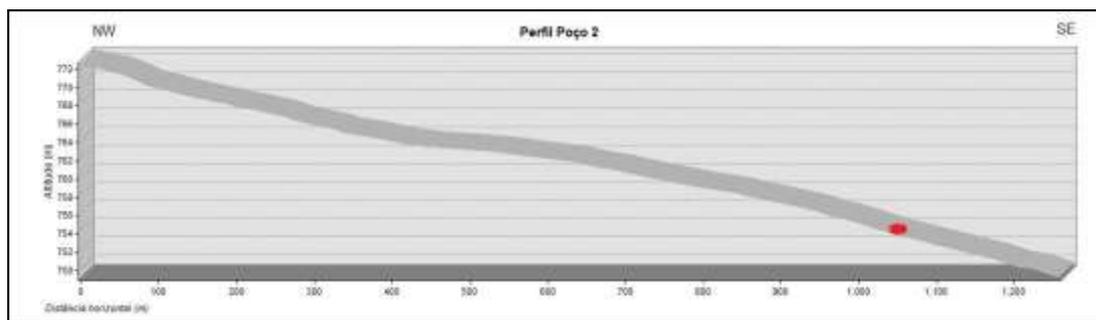
Tabela 5.13 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 2 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 65,3	145,75	58,92
65,4 – 196,0	51,28	20,73
196,1 – 375,7	26,89	10,87
375,8 – 596,2	14,33	5,79
596,3 – 898,4	6,76	2,73
898,5 – 1355,8	1,77	0,71
1355,9 – 2082,7	0,58	0,23
Área Total	247,35	100,00

Os perfis traçados nas direções S-NE e NW-SE (Figura 5.12 (a) e (b)), incluindo o Poço 2, apresentam vertentes de rampa extensa e de baixa declividade, com maior variação nas proximidades do canal de drenagem. As formas principais são as retilíneas e as convexas. Quanto à posição do poço na vertente, é possível inferir que ocorram fluxos de escoamentos superficiais por caminhos longos.



(a)



(b)

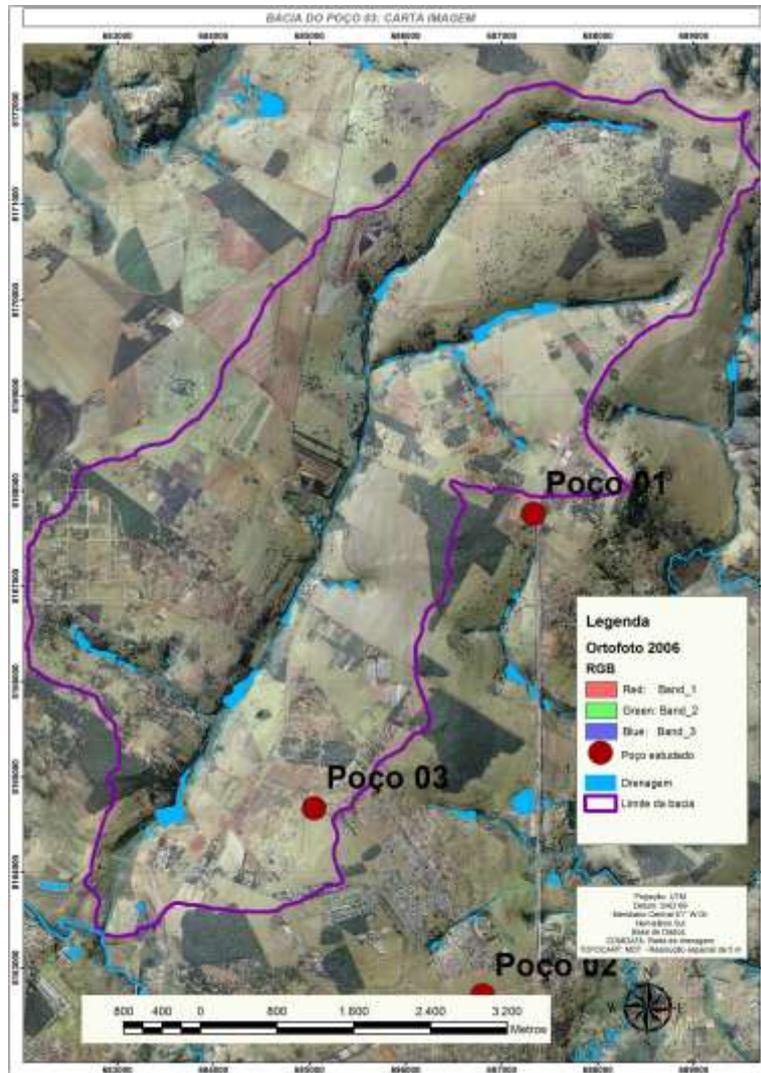
Figura 5.12 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 2: (a) direção sul-nordeste e (b) direção noroeste-sudeste.

5.2.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 3

O Poço 3 está situado na porção norte de Goiânia, no bairro Alice Barbosa. Sua bacia, com área de 3172,56 ha (31,72 km²), pertence à bacia do córrego Samambaia, afluente do rio Meia Ponte. O curso da drenagem, conforme Figura 5.13 (a), é encaixado, com represas ao longo do curso, vegetação de mata ciliar alterada esparsa e desníveis de até 142 m. Do poço até o canal de drenagem o desnível é de 61 m em 1470 m ao longo da linha de maior inclinação na vertente. O Poço 3 foi executado em área de pastagem cultivada, em local onde existia Floresta Estacional Semidecidual. O uso com pastagens, como pode ser visto na Figura 5.13 (b) e (c), ocorre há mais de 30 anos. Ocorre vegetação natural do tipo Floresta Estacional Semidecidual, em resquícios, nos topos do interflúvio, junto às cabeceiras e próximo ao rio Meia Ponte. A Figura 5.14 mostra o modelo hipsométrico, a orientação, as declividades, a curvatura e o comprimento de fluxo.

O modelo hipsométrico referente à área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3, de acordo com a Tabela 5.14 e Figura 5.14 (a), aponta para essa bacia variações altimétricas entre 697,5 a 879,4 m, com amplitudes altimétricas de até 81,9 m que, segundo

IBGE (1995), são consideradas muito grandes. A maior parte tem altitudes entre 720 e 791 m. A posição do poço na vertente indica cota altimétrica de 771 m.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.13 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 3.

Tabela 5.14 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
697,5 – 720,6	195,44	6,16
720,7 – 736,8	377,32	11,89
736,9 – 749,9	675,67	21,30
750,0 – 762,2	574,35	18,10
762,3 – 774,9	550,73	17,36
775,0 – 791,2	373,59	11,78
791,3 - 812,7	194,66	6,14
812,8 – 837,7	163,91	5,17
837,8 – 879,4	66,89	2,11
Área total	3172,56	100,00

O modelo de orientação das vertentes indica, conforme Tabela 5.15, orientação principalmente para o quadrante sul. A direção preferencial do canal de drenagem da bacia do Poço 3 é de nordeste para sudoeste, conforme Figura 5.14 (b). O Poço está posicionado na vertente com indicação de orientação para NW. A área da bacia apresenta 85,57% das declividades com valores inferiores a 8,3%. Pela Figura 5.14 (c), pode ser observado que as maiores declividades acompanham o canal de drenagem. No que se refere ao ponto do Poço 3, o modelo aponta declividade de 4,4%.

Tabela 5.15 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	143,75	4,53
Nordeste – 22,5 – 67,5	141,69	4,47
Leste – 67,5 – 112,5	221,16	6,97
Sudeste – 112,5 – 157,5	454,66	14,33
Sul – 157,5 – 202,5	517,32	16,31
Sudoeste – 202,5 – 247,5	475,79	15,00
Oeste – 247,5 – 292,5	702,32	22,14
Noroeste – 292,5 – 337,5	515,88	16,26
Área Total		100,00

Quanto à curvatura do terreno, a maior parte da área da bacia apresenta predomínio da curvatura convexa, tanto em perfil como ao longo das curvas de nível, de acordo com a Tabela 5.17 e Figura 5.14 (d) e (e). Quanto à curvatura plana, predominam curvaturas côncavas nas cabeceiras e, a partir da meia vertente, em alinhamentos que indicam concentração de fluxo. O modelo indica, próximo ao Poço 3, tanto em perfil quanto ao longo

das curvas de nível, curvatura côncava.

Tabela 5.16 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 2,4	925,81	29,18
2,5 – 5,2	1151,81	36,31
5,3 - 8,3	636,95	20,08
8,4 – 12,7	298,71	9,42
12,8 – 18,9	116,63	3,68
19,0 – 29,8	36,84	1,16
30,0 – 79,2	5,81	0,18
Área total	3172,56	100,00

Esta bacia apresenta valores de comprimento de fluxo entre 0 e 87,7 m para 62% da área, de acordo com a Tabela 5.18 e Figura 5.14 (f). O Poço 1 apresenta comprimentos de fluxo variando entre 87,8 a 280,8 m, podendo ser considerados como longos.

Tabela 5.17 – Curvaturas ao longo dos perfis e ao longo das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO.

Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	1461,00	46,05
Retilínea	765,45	24,13
Côncava	946,11	29,82
Área total	3172,56	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	1406,47	44,33
Retilínea	859,07	27,08
Côncava	907,03	28,59
Área total	3172,56	100,00

Tabela 5.18 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 87,7	1980,21	62,42
87,8 – 280,8	670,40	21,13
280,9 – 544,2	289,16	9,11
544,3 – 877,7	146,14	4,61
877,8 – 1369,3	66,83	2,11
1369,4 – 2369,9	16,87	0,53
2370,0 – 4476,6	2,95	0,09
Área Total	3172,56	100,00

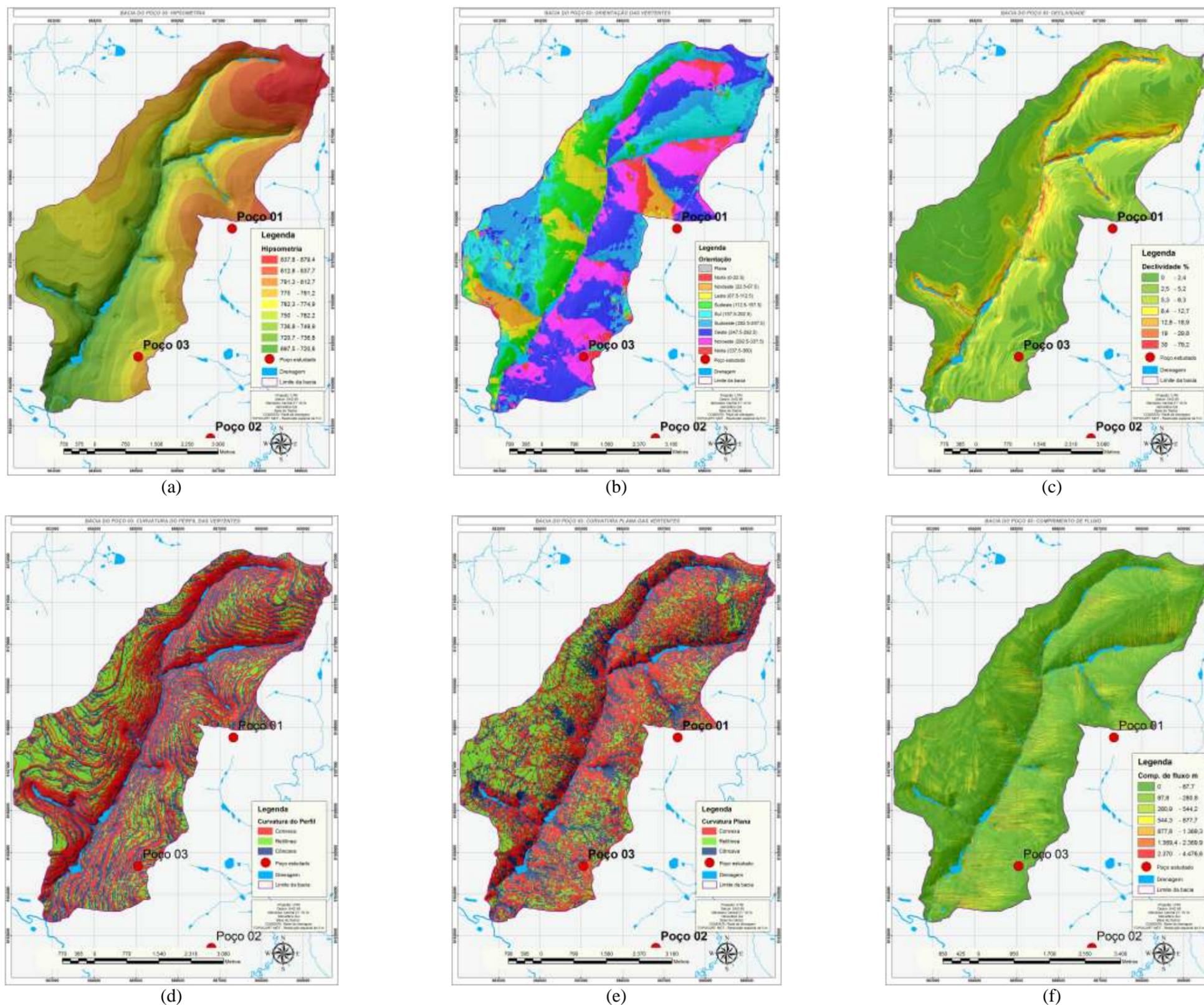
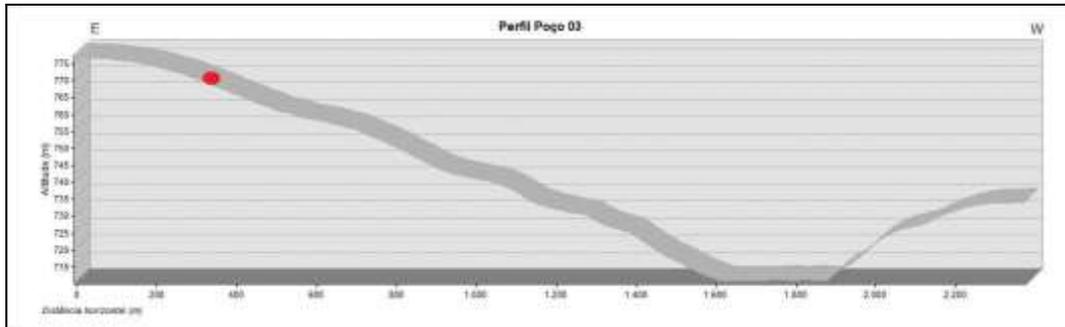
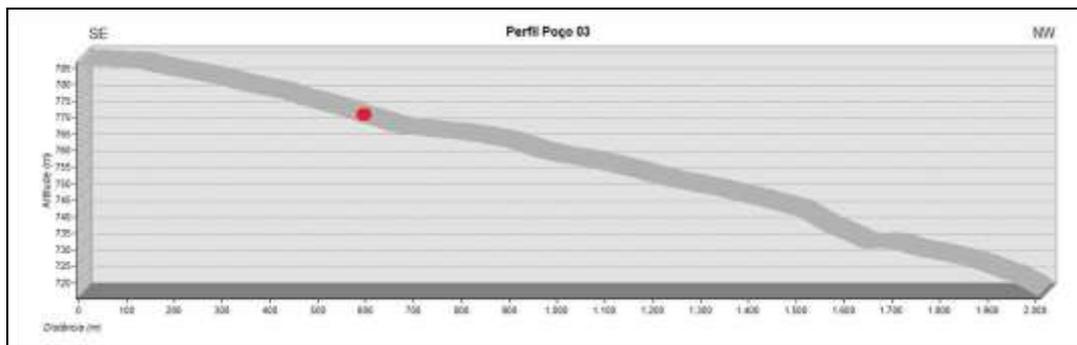


Figura 5.14 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 3: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimento de fluxo.

Os perfis traçados nas direções E-W e SE-NW, incluindo o ponto referente ao Poço 3, indicam que, na vertente ao longo da primeira direção, desde a montante até a cabeceira de drenagem, há o predomínio de curvatura convexa, apresentando quebras no relevo e possíveis quebras na velocidade da água de escoamento, como pode ser visto nas Figura 5.15 (a) e (b).



(a)

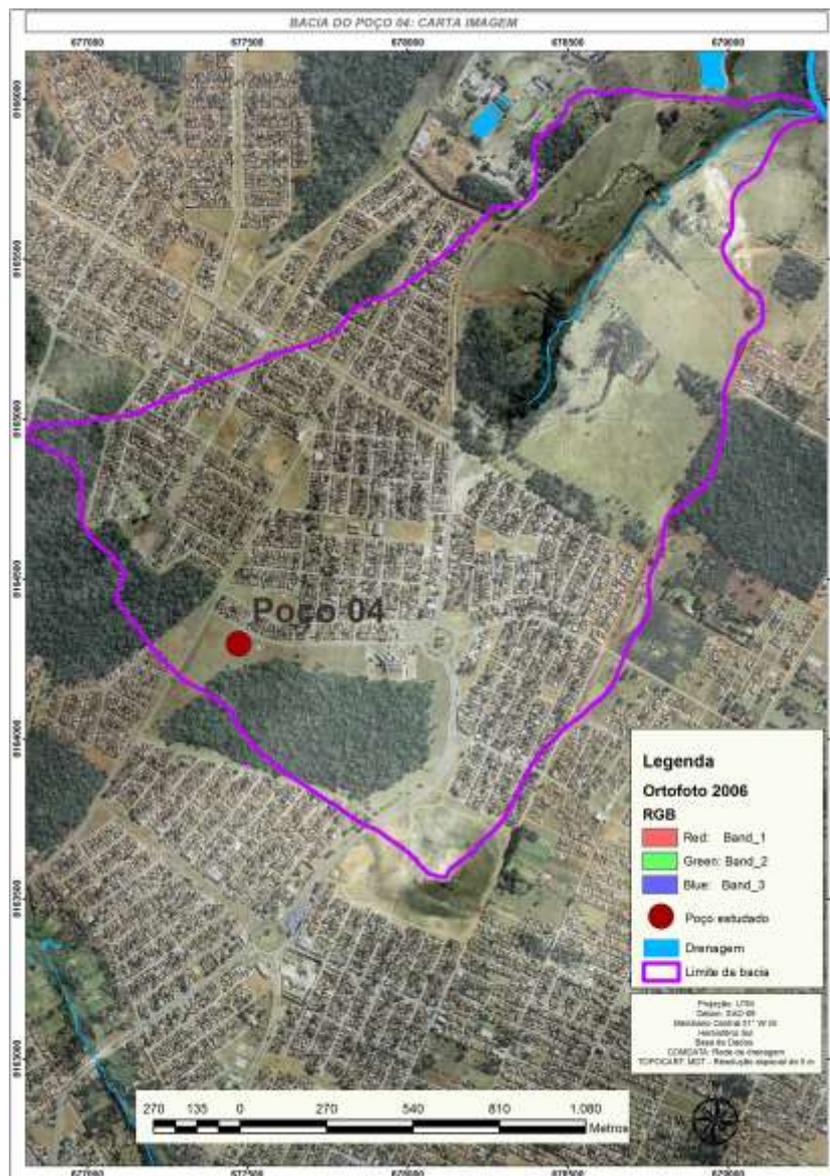


(b)

Figura 5.15 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 3 (em vermelho): (a) direção leste-oeste e (b) direção sudeste-noroeste.

5.2.4 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 4

O Poço, ilustrado na Figura 5.16 (a), (b) e (c), está localizado no bairro Jardim Curitiba, em área de conservação no Parque Municipal Curitiba. Está inserido na bacia hidrográfica cuja área é de 294,14 ha (2,94 km²), é uma sub-bacia do rio Meia Ponte. O curso de drenagem dessa bacia é bem encaixado e de pequena dimensão. Do poço até a cabeceira de drenagem o desnível é de 68 m em 1200 m de extensão ao longo do perfil. A cabeceira apresenta configuração de anfiteatro, com presença de mata ciliar. A vegetação dessa bacia é do tipo Floresta Estacional Semidecidual, mas no entorno do poço ocorre reflorestamento com espécies do cerrado e de floresta. Segundo administração do parque, o local onde se situou o poço pode ter sido destinado à pastagem.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.16 – (a) Carta imagem da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 4.

O modelo hipsométrico, conforme mostra a Figura 5.17 (a), aponta, para a área da bacia hidrográfica onde se situa o poço 4, variações altimétricas entre 703,6 a 856 m, com amplitude de até 152,4 m, considerada muito grande, segundo IBGE (1995). Nessa condição, há maior energia potencial relativa para ocorrência de processos erosivos. A maior parte tem altitudes entre 702 e 835 m (o poço está a aproximadamente 808 m). Na Tabela 5.19 e na Figura 5.17 (a), estão registrados os dados e o mapa relativo à hipsometria da área.

Tabela 5.19 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
703,6 – 725,4	17,56	5,97
725,5 – 740,3	29,43	10,00
740,4 – 755,1	29,76	10,12
755,2 – 769,5	33,92	11,53
769,6 – 783,5	42,01	14,28
783,6 – 797,5	41,07	13,96
797,6 – 810,6	49,70	16,90
810,7 – 824,8	36,56	12,43
824,9 – 856,1	14,12	4,80
Área total	294,14	100,00

A direção preferencial do canal de drenagem da bacia do Poço 4 é SW-NE. Na margem esquerda do córrego, a orientação predominante é para leste e nordeste e, na margem direita, para norte e nordeste, como apresentado na Tabela 5.20 e na Figura 5.17 (b). O Poço 4 está inserido na porção da vertente cuja orientação é de E.

Tabela 5.20 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	107,73	36,63
Nordeste – 22,5 – 67,5	56,34	19,15
Leste – 67,5 – 112,5	78,40	26,65
Sudeste – 112,5 – 157,5	21,60	7,31
Sul – 157,5 – 202,5	1,91	0,65
Sudoeste – 202,5 – 247,5	0,27	0,09
Oeste – 247,5 – 292,5	0,59	0,20
Noroeste – 292,5 – 337,5	27,41	9,32
Área Total	294,14	100,00

O modelo de declividades aponta que 89,18% da área da bacia com declividades inferiores a 9,2%, conforme dados anotados na Tabela 5.21. Pode ser observado, na Figura 5.17 (c), que as áreas com declividades mais acentuadas ocorrem principalmente junto às encostas dos morros testemunhos e na cabeceira de drenagem. No entorno do Poço 4, a declividade é de 5%. Próximo à jusante, nas vertentes do fundo de vale, ocorrem processos erosivos lineares nas partes mais inclinadas.

Tabela 5.21 - Declividades da área da bacia hidrográfica onde encontra-se situado o Poço 4 – município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 a 4,9	113,50	38,58
5 – 9,2	148,84	50,60
9,3 – 17,8	24,57	8,35
17,8 – 30,7	5,37	1,82
30,8 – 60,9	1,72	0,59
70,0 – 107,0	0,10	0,03
107,1 – 156,8	0,05	0,02
Área total	294,14	100,00

Quanto à curvatura do perfil, há predomínio de curvaturas retilíneas na margem direita, principalmente nas porções mais altas, próximas a montante, o que pode ser visualizado na Figura 5.17 (d). Na margem direita, predominam curvaturas convexas. No que se refere à curvatura plana, existem em maior expressão curvaturas retilíneas a montante e convexas próximas à jusante. Os dados relativos às curvaturas do perfil e plana estão registrados na Tabela 5.22 enquanto que na Figura 5.17 (e) é apresentado o mapa da curvatura plana.

O predomínio de curvaturas planas côncavas a montante indica tendência de continuidade de erosão regressiva, configurando uma extensa e arredondada cabeceira. Para o entorno do poço, o modelo indica curvatura convexa no perfil, indicando dispersão do fluxo, e, para a curvatura plana, é retilínea e côncava, o que pode sugerir desaceleração do fluxo superficial, ou mesmo maior infiltração da água por causa dos baixos valores de declividade.

Essa bacia apresenta comprimento de fluxo com maior proporção entre 0 a 81,7 m para 62% da área, conforme Tabela 5.23 e Figura 5.17 (f), indicando curtos comprimentos percorridos pela água de escoamento superficial em vertente de declividades baixas. O Poço 4 apresenta comprimento de fluxo entre 81,8 e 256,8 m, e esse intervalo incide em 20% da área.

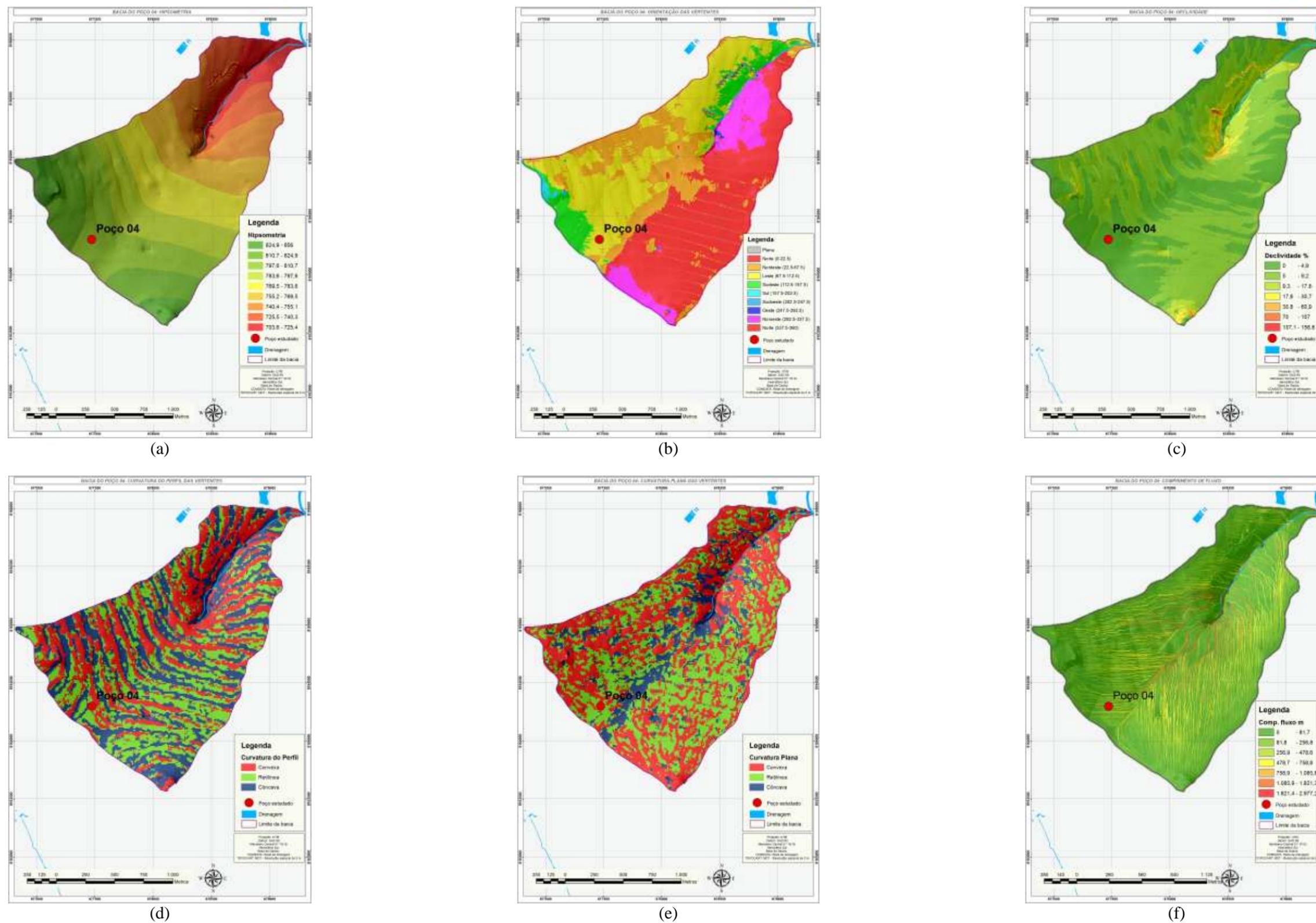


Figura 5.17 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c); declividades; (d) curvaturas do perfil (e); curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

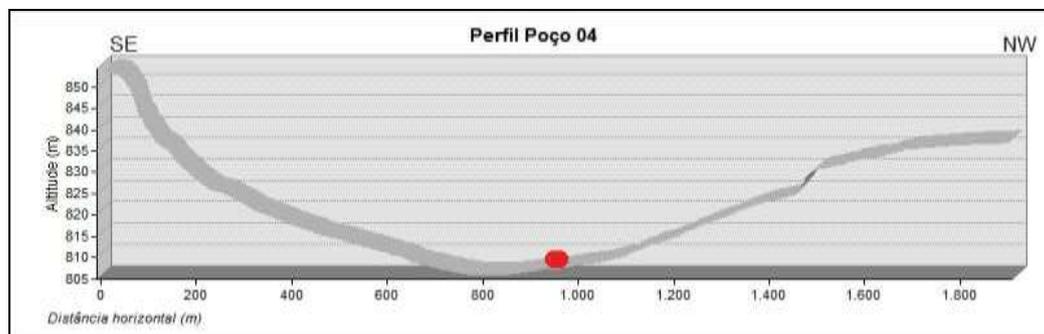
Tabela 5.22 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 4 no Município de Goiânia-GO.

Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	99,86	33,95
Retilínea	95,28	32,39
Côncava	99,01	33,66
Área total	294,14	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	136,46	46,39
Retilínea	112,75	38,33
Côncava	44,94	15,28
Área total	294,14	100,00

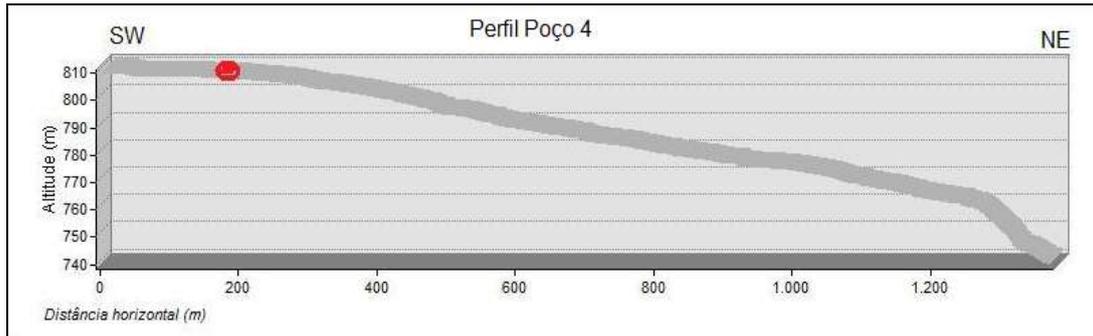
Tabela 5.23 – Comprimentos de fluxo na bacia do Poço 4 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 - 81,7	181,38	61,66
81,8 – 256,8	59,53	20,24
256,9 – 478,6	25,57	8,69
478,7 – 758,8	15,08	5,13
758,9 – 1085,8	8,73	2,97
1085,9 – 1821,3	3,40	1,16
1821,4 – 2977,2	0,45	0,15
Área Total	294,14	100,00

Os perfis traçados nas direções SE-NW e SW-NE, conforme Figura 5.18 (a) e (b), incluindo o ponto referente ao Poço 4, indicam que, na vertente ao longo da primeira direção, na margem esquerda, há predomínio da curvatura côncava e, na margem direita, das curvaturas convexa e retilínea. Ao longo da segunda direção, SW-NE, de acordo com a Figura 5.18 (b), há o predomínio da curvatura convexa ao longo do perfil.



(a)



(b)

Figura 5.18 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 4: (a) direção sudeste-noroeste e (b) direção sudoeste-nordeste.

5.2.5 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA BACIA E DO POÇO 5

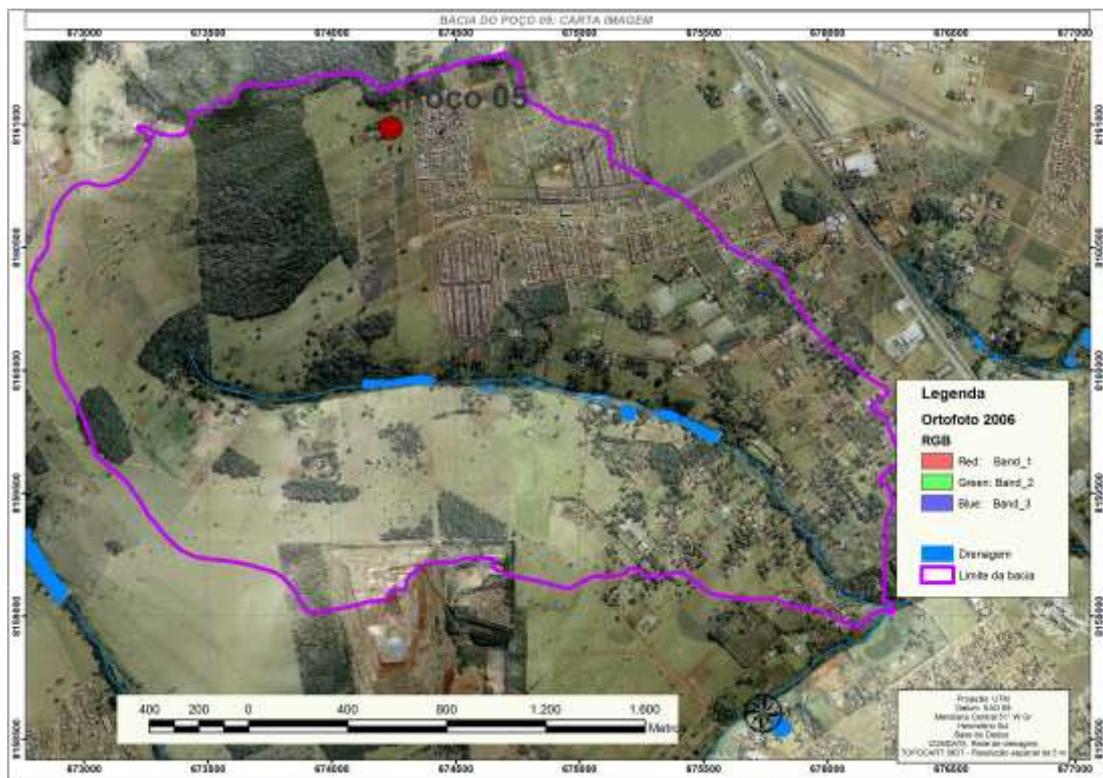
O Poço 5, ilustrado nas Figura 5.19 (a), (b) e (c), está situado no residencial Solar Ville e pertence à bacia do córrego do Meio, afluente do ribeirão Caveiras. A área da bacia hidrográfica onde se encontra situado apresenta aproximadamente 562 ha (5,62 km²). O curso da drenagem é bem encaixado. Do poço até o canal da drenagem o desnível é de 82 m em 1020 m ao longo do perfil. Ocorrem resquícios de mata ciliar ao longo do canal, e a vegetação natural presente na bacia indica o predomínio de Cerrado *stricto sensu* e Cerradão. No entorno do poço, há a presença de pastagem cultivada (braquiara). Conforme observações de campo, esse uso ocorre por mais de 40 anos.

O modelo hipsométrico indica, para a área da bacia onde o referido poço se insere, de acordo com a Tabela 5.24 e o mapa da Figura 5.20 (a), variações altimétricas entre 756 a 907 m, com amplitudes altimétricas de até 151 m, muito grandes de acordo com IBGE (1995). Essa amplitude altimétrica indica maior potencial aos processos erosivos. Aproximadamente 81,66% da área apresentam altitudes variando entre 799 a 881 m; especificamente no poço, a cota altimétrica é de 876 m.

Conforme os dados apresentados na Tabela 5.25 e ilustrado na Figura 5.20 (b), as vertentes da bacia onde situa-se o Poço 5 encontram-se principalmente orientadas para o quadrante sul e leste e a direção preferencial do canal de drenagem da bacia é NW-SE. O poço está posicionado na vertente onde a orientação é de SE. O modelo de declividade indica, para a bacia do Poço 5, que 87% da área apresenta declividade inferior a 11,4%, de acordo com a Tabela 5.26. As áreas com declividades mais acentuadas estão relacionadas às encostas dos morros testemunhos e no fundo de vale, ao longo do canal de drenagem, como ilustrado no

mapa da Figura 5.20 (c).

Destaque pode ser dado às inclinações relativas à existência do aterro sanitário do Município de Goiânia, situado a montante. O modelo aponta para declividades no entorno do poço entre 7,5 e 11,4%, o que indica tendência de maior escoamento superficial relativo.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.19 – (a) Carta imagem da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 5.

O modelo de curvaturas do terreno apresenta, para a área da bacia onde se encontra o Poço 5, predomínio da curvatura convexa, tanto no perfil quanto ao longo das curvas de nível (curvatura plana), de acordo com a Tabela 5.27 e Figura 5.20 (d). Mas apresenta também

expressão para as curvaturas retilíneas no plano e côncavas no perfil, ressaltadas ao longo do canal. Ainda podem ser observados alinhamentos côncavos referentes à curvatura plana, como apresentados na Figura 5.20 (e), o que pode indicar concentração do fluxo de água superficial.

Tabela 5.24 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO.

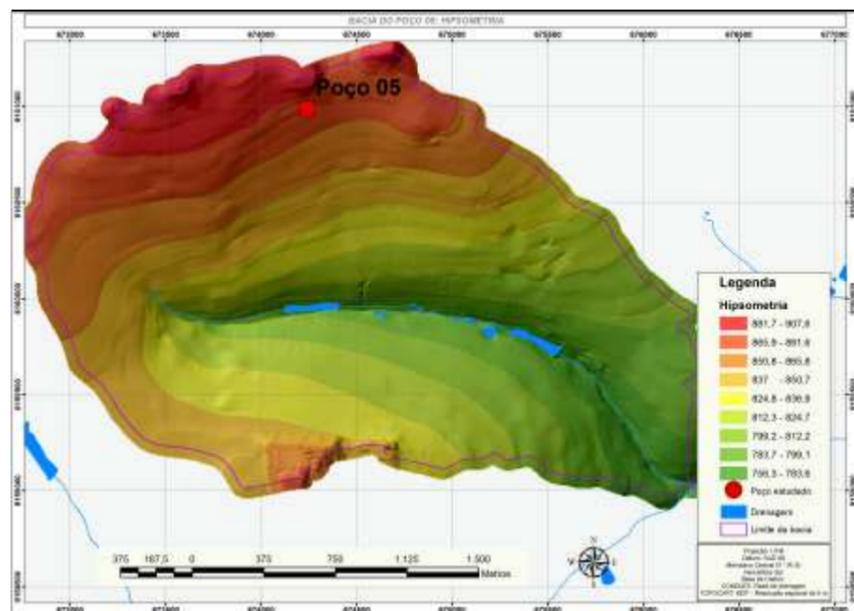
Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
756,3 – 783,6	23,07	4,10
783,7 – 799,1	49,63	8,83
799,2 – 812,2	74,53	13,26
812,3 – 824,7	78,57	13,98
824,8 – 836,9	84,05	14,95
837,0 – 850,7	94,44	16,80
850,8 – 865,8	68,15	12,13
865,9 - 881,6	59,26	10,54
881,7 – 907,6	30,37	5,40
Área total	562,07	100,00

Tabela 5.25 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO.

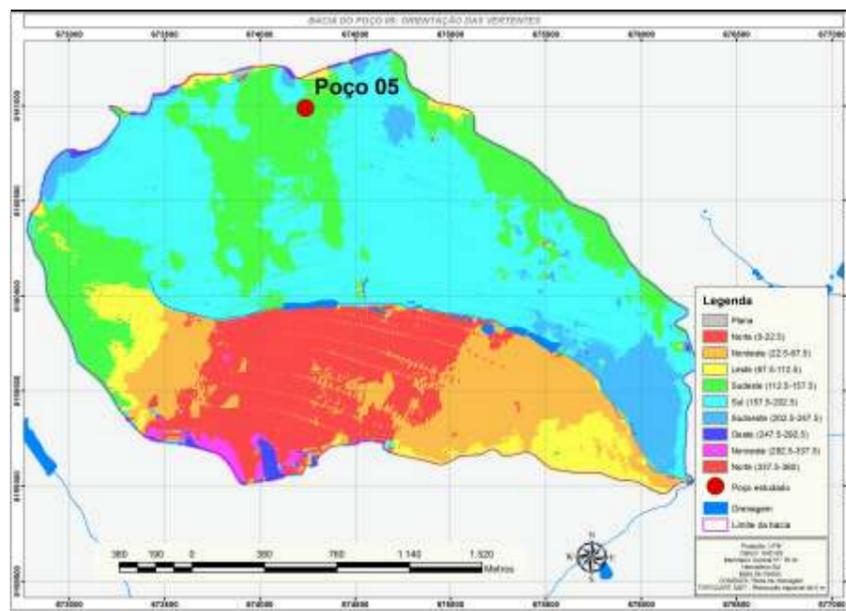
Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	86,69	15,42
Nordeste – 22,5 – 67,5	72,89	12,97
Leste – 67,5 – 112,5	33,82	6,02
Sudeste – 112,5 – 157,5	116,75	20,77
Sul – 157,5 – 202,5	210,93	37,53
Sudoeste – 202,5 – 247,5	33,22	5,91
Oeste – 247,5 – 292,5	2,94	0,52
Noroeste – 292,5 – 337,5	4,84	0,86
Área Total	562,07	100,00

Tabela 5.26 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO.

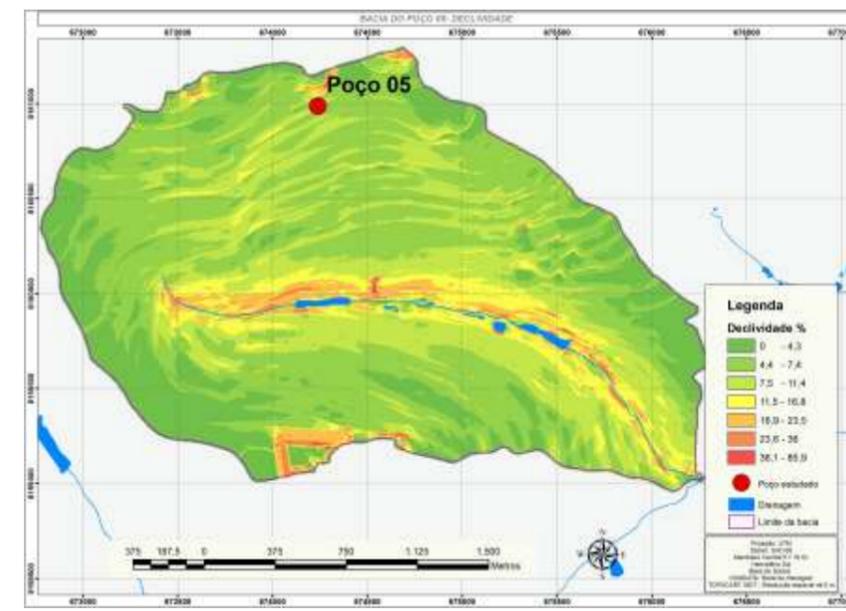
Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 4,9	110,37	19,64
5 – 9,2	241,84	43,03
9,3 – 17,8	138,76	24,69
17,8 – 30,7	43,40	7,72
30,8 – 60,9	21,59	3,84
70,0 – 107,0	5,48	0,97
107,1 – 156,8	0,63	0,11
Área total	562,07	100,00



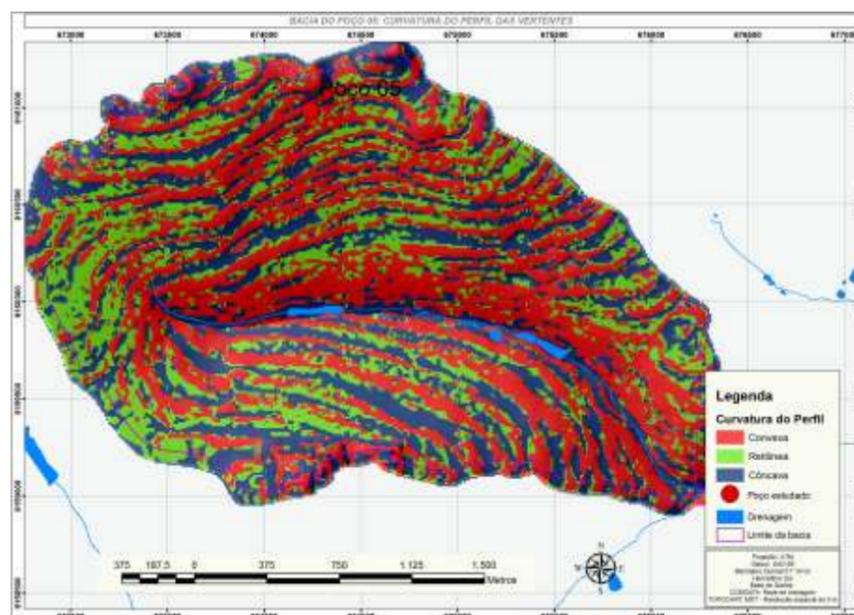
(a)



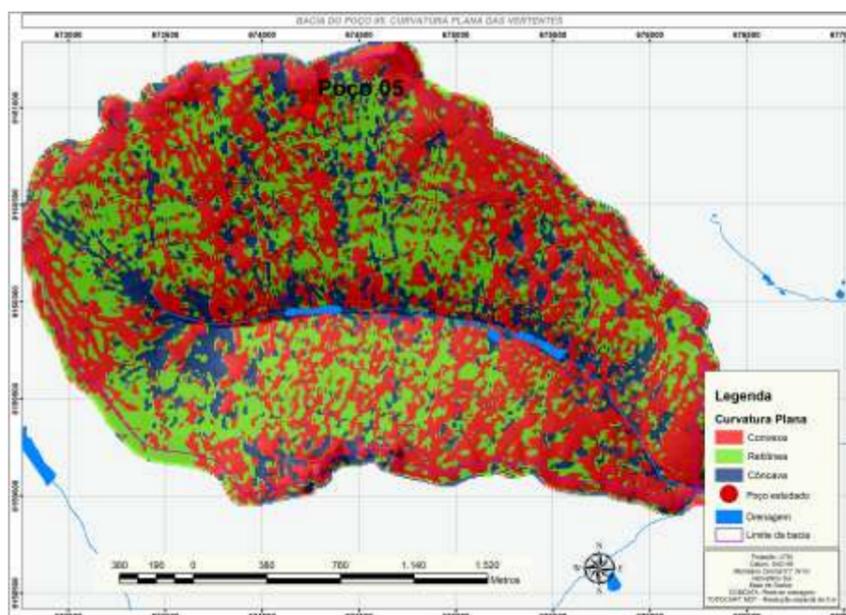
(b)



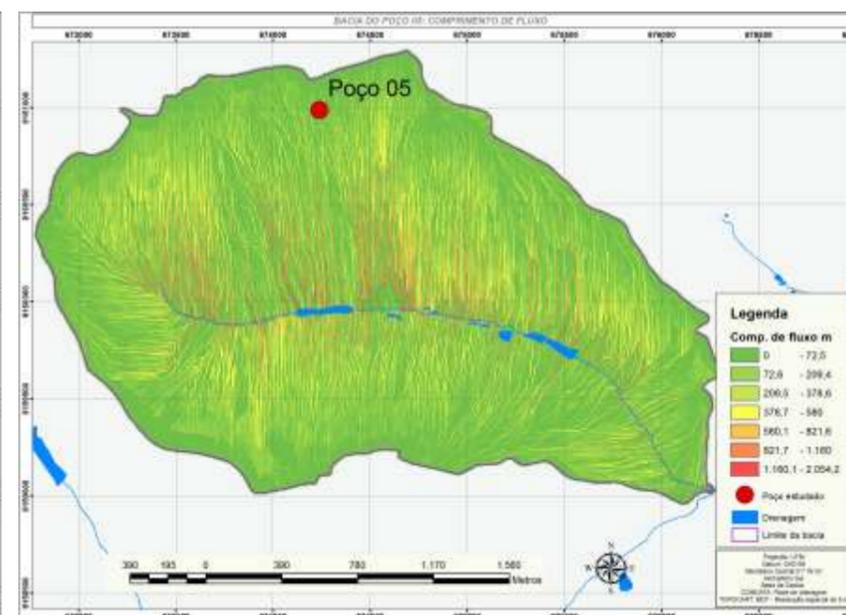
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.20 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5: (a) hipsométrico.; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f); comprimentos de fluxo.

Tabela 5.27 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO.

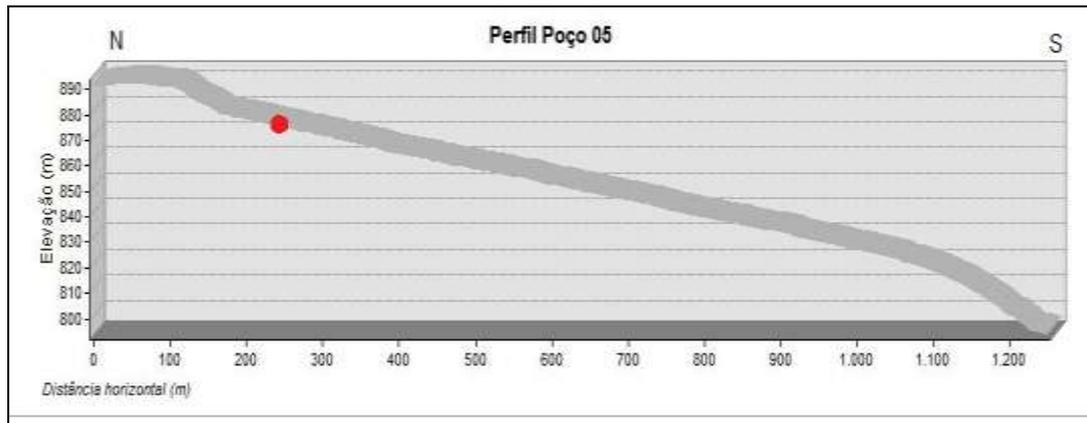
Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	250,46	44,56
Retilínea	136,57	24,30
Côncava	175,04	31,14
Área total	562,07	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	268,17	47,71
Retilínea	199,28	35,46
Côncava	94,62	16,83
Área total	562,07	100,00

A área dessa bacia apresenta comprimento de fluxo de maior expressão entre 0 a 72,5 m em 61% da área, cujos dados são apresentados na Tabela 5.28. Na margem esquerda, estão ressaltados os maiores comprimentos de fluxo coincidentes com curvaturas planas côncavas, o que pode sugerir concentração de fluxo também ao longo desses alinhamentos, configurando rampas mais longas. O Poço 5 está inserido no comprimento de fluxo, variando entre 0 a 72,5 m, cujo mapa está ilustrado na Figura 5.20 (f).

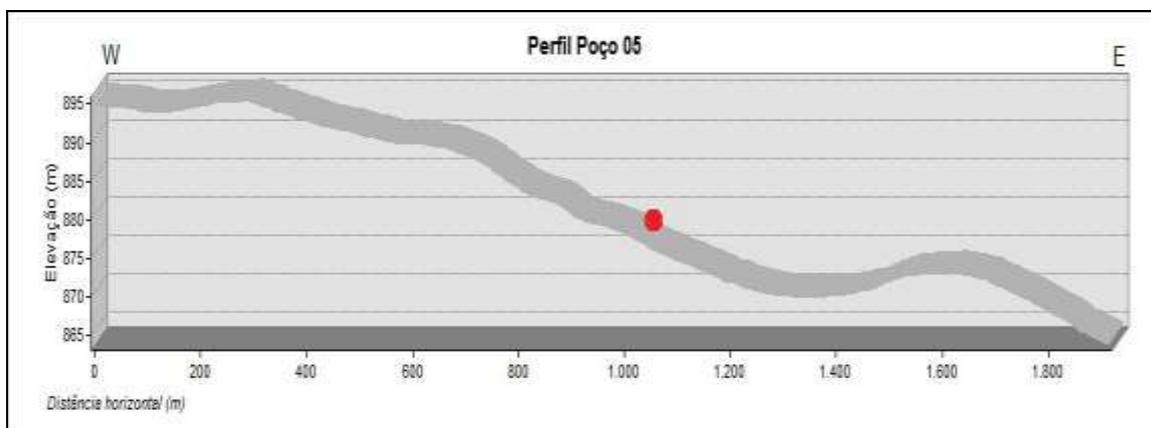
Tabela 5.28 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 5 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 72,5	341,88	60,33
72,6 – 209,4	103,28	18,38
209,5 – 378,6	51,54	9,17
378,7 – 580,0	32,41	5,77
580,1 – 821,6	19,88	3,54
821,7 – 1160,0	10,20	1,82
1160,1 – 2054,2	2,88	0,51
Área Total	562,07	100,00

Na Figura 5.21 (a) e (b), são apresentados os perfis traçados segundo as direções N-S e W-E, incluindo o ponto referente ao Poço 5. É observado que na vertente, ao longo da primeira direção, há o predomínio de curvatura retilínea. Ao longo da direção W-E, são intercaladas as curvaturas convexa, côncava e retilínea, confirmando comprimentos de fluxo mais curtos ao longo dessa direção.



(a)



(b)

Figura 5.21 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 5: (a) direção norte-sul e (b) direção oeste-leste.

5.2.6 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 6

O Poço 6, com imagens da sua localização apresentadas na Figura 5.22 (a), (b) e (c), está situado próximo à rodovia GO-060 – Rodovia dos Romeiros. A área da bacia hidrográfica onde o Poço 6 encontra-se inserido é de 374,47 ha (3,74 km²) e envolve uma drenagem afluente do ribeirão Anicuns, cujo nome não foi identificado. As observações de campo permitiram inferir que a vegetação natural era do tipo Cerrado *stricto sensu*. No local de execução do poço, foi observado que atualmente a vegetação predominante é de gramínea do tipo invasora, com presença de mata ciliar alterada ao longo do curso da drenagem.

O modelo hipsométrico da área onde o Poço 6 encontra-se inserido, com os dados e mapa apresentados, respectivamente, na Tabela 5.29 e Figura 5.23 (a), mostra variações altimétricas entre 765,9 a 845,5 m, com amplitudes de até 79,6 m, consideradas grandes, segundo os

critérios do IBGE (1995). Comparativamente, isso significa que existe ainda uma energia expressiva para a ocorrência de processos erosivos, em relação ao nível de base de erosão. A drenagem encontra-se encaixada e apresenta configuração de anfiteatro na cabeceira. A maior parte da bacia tem altitudes entre 812 a 845 m, e o local de execução do Poço 6 apresenta cota altimétrica de 833 m. Do poço até o canal da drenagem o desnível é de 49 m em 895 m de comprimento.



(a)

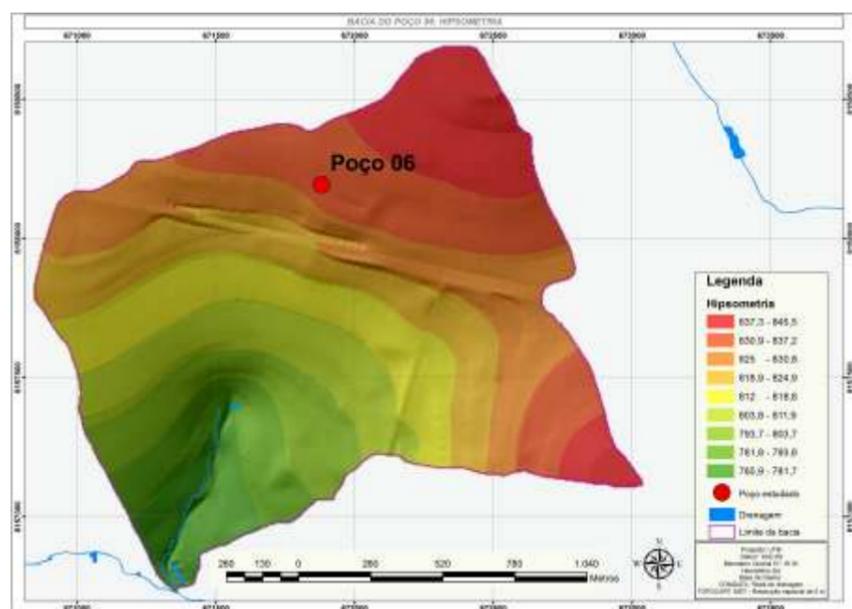


(b)

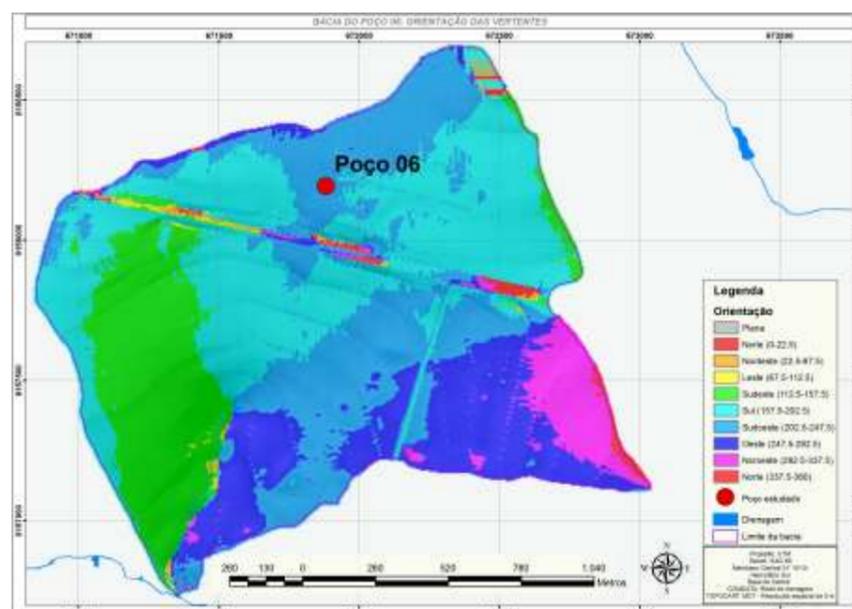


(c)

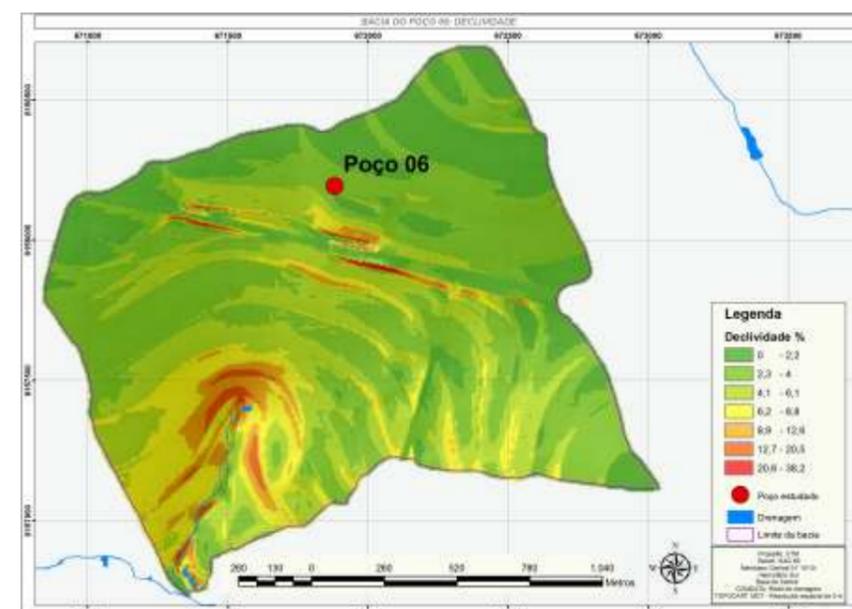
Figura 5.22 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 6.



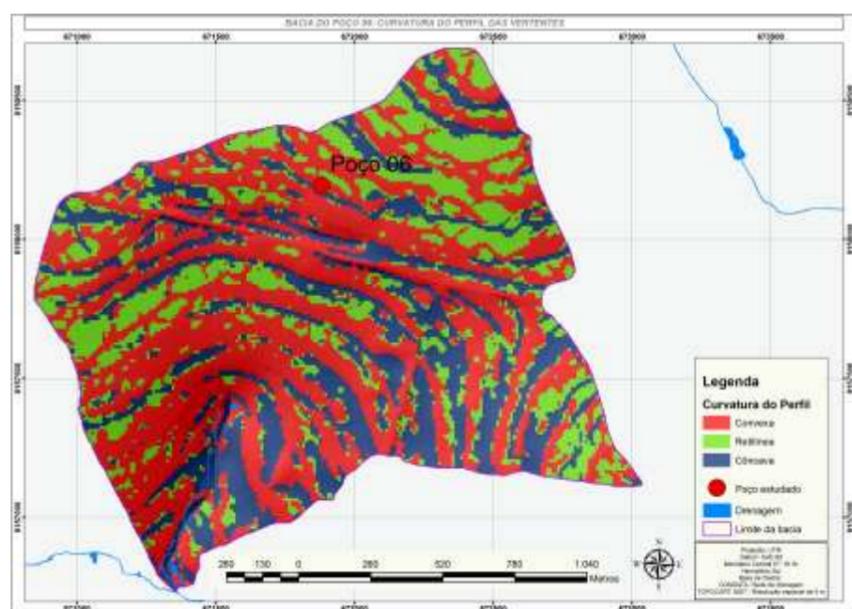
(a)



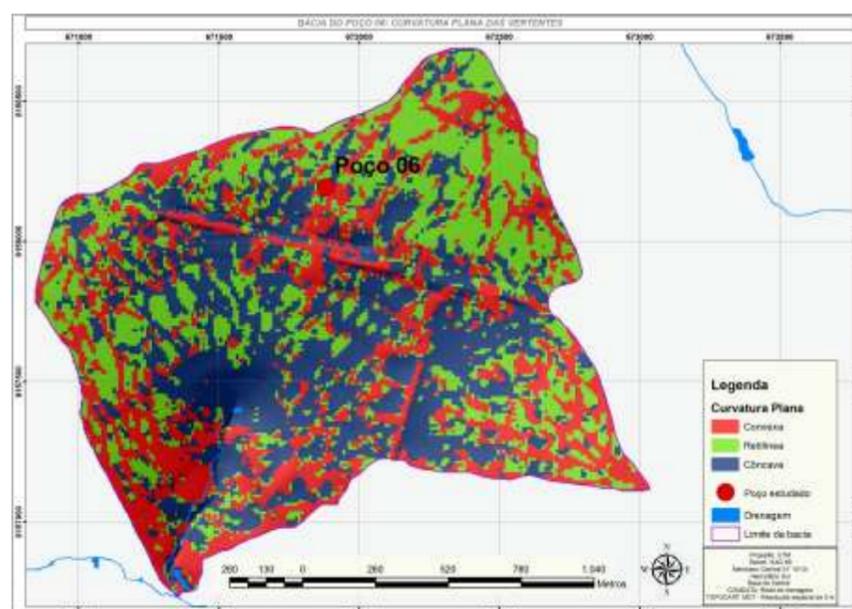
(b)



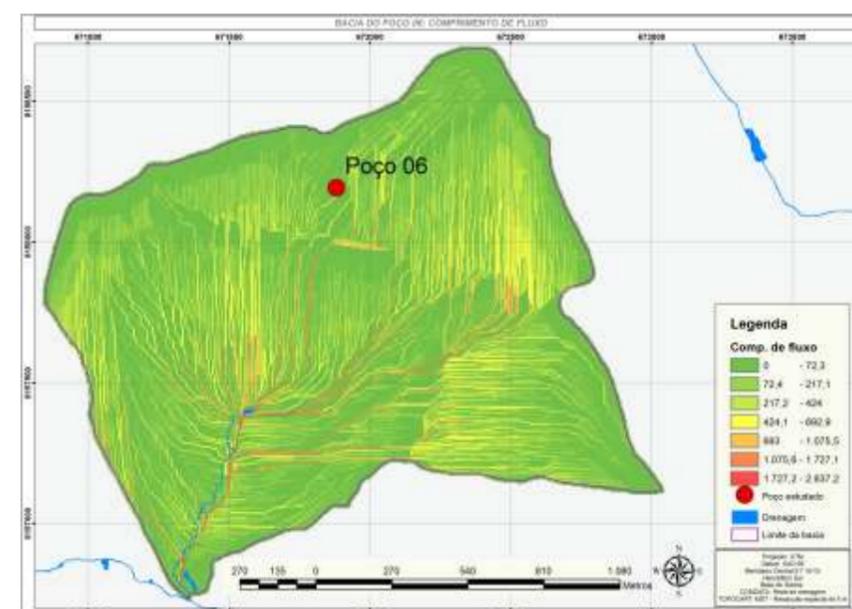
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.23 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

Tabela 5.29 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
765,9 – 781,7	8,73	3,53
781,8 – 793,6	11,76	4,75
793,7 – 803,7	15,23	6,15
803,8 – 811,9	19,87	8,03
812,0 – 818,8	28,32	11,44
818,9 – 824,9	36,79	14,87
825,0 – 830,8	47,28	19,11
830,9 – 837,2	46,43	18,76
837,3 – 845,5	33,06	13,36
Área total	247,47	100,00

O canal de drenagem dessa bacia do Poço 6 possui pequena dimensão em relação ao comprimento dos outros canais. Sua direção aproximada é de norte-sudoeste, como visualizado na Figura 5.23 (b). O modelo de orientação das vertentes apresenta, conforme registrado na Tabela 5.30, vertentes direcionadas principalmente para o quadrante sul e leste. Especificamente o ponto está inserido na porção da vertente com orientação de SW.

Tabela 5.30 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	2,17	0,88
Nordeste – 22,5 – 67,5	1,10	0,45
Leste – 67,5 – 112,5	1,40	0,56
Sudeste – 112,5 – 157,5	42,75	17,27
Sul – 157,5 – 202,5	84,01	33,95
Sudoeste – 202,5 – 247,5	65,01	26,27
Oeste – 247,5 – 292,5	38,59	15,59
Noroeste – 292,5 – 337,5	12,45	5,03
Área Total	247,47	100,00

O modelo de declividade indica para essa bacia que 83% da área possuem declividades inferiores a 6,1%, de acordo com a Tabela 5.31. A partir da Figura 5.23 (c), pode ser observado que as áreas com declividades mais acentuadas estão próximas ao canal de drenagem. A declividade no entorno é de aproximadamente 4%.

Tabela 5.31 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0-2,2	49,50	20,00
2,3 – 4,0	96,25	38,89
4,1 – 6,1	59,77	24,15
6,2 – 8,8	28,62	11,57
8,9 – 12,6	10,02	4,05
12,7 – 20,5	3,10	1,25
20,6 – 38,2	0,20	0,08
Área total	247,47	100,00

Quanto à curvatura do terreno, como apresentado na Tabela 5.32, o modelo indica o predomínio de curvatura convexa ao longo das maiores inclinações, o que também pode ser visto na Figura 5.23 (d). Já ao longo das curvas de nível (curvatura plana), o modelo mostra linhas de tendência à concentração de fluxo, pela existência de curvaturas planas côncavas na cabeceira da drenagem, evidenciando a característica de anfiteatro (embaciamento). A Figura 5.23 (e) ilustra as imagens da curvatura plana da bacia onde está localizado o poço estudado. O modelo permite inferir que, tanto para as curvaturas planas quanto para as do perfil, predomina a curvatura convexa no entorno do Poço 6, indicando maior dispersão do fluxo superficial nesse local.

Tabela 5.32 – Curvaturas ao longo dos perfis e ao longo das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO.

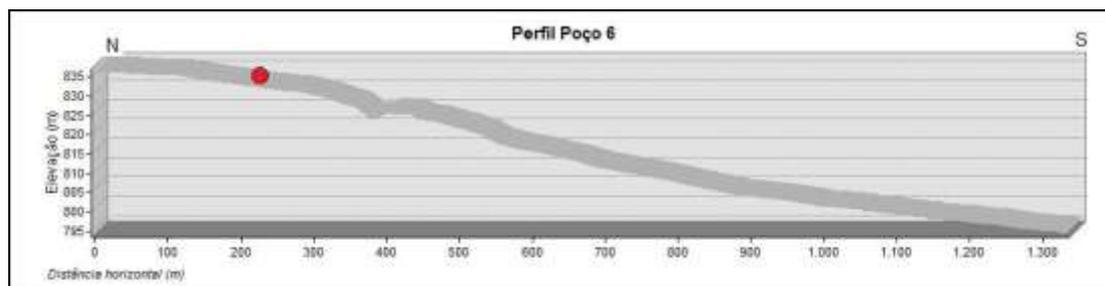
Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	124,35	50,25
Retilínea	58,36	23,58
Côncava	64,77	26,17
Área total	247,47	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	76,82	31,04
Retilínea	78,18	31,59
Côncava	92,47	37,37
Área total	247,47	100,00

Essa bacia apresenta maior expressão para o comprimento de fluxo entre 0-72,3 m para 59,62% da área, de acordo com a Tabela 5.33 e Figura 5.23 (f), intervalo no qual também se enquadra o Poço 6, tendo destaque os curtos comprimentos de fluxos percorridos pela água superficial no seu entorno.

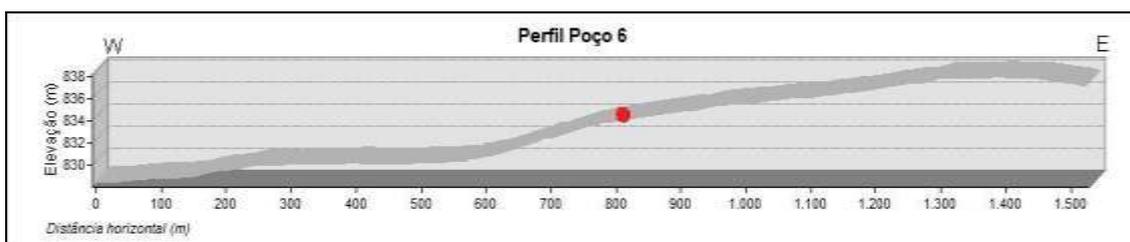
Tabela 5.33 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 6 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 72,3	147,53	59,62
72,4 – 217,1	51,74	20,91
217,2 – 424,0	25,89	10,46
424,1 – 692,9	13,97	5,65
693,0 – 1075,5	5,80	2,35
1075,6 – 1727,1	2,10	0,85
1727,2 – 2637,3	0,42	0,17
Área Total	247,47	100,00

Nos perfis traçados nas direções N-S e W-E, incluindo o ponto referente ao Poço 6, como apresentado na Figura 5.24 (a) e (b), pode ser visto que, na vertente ao longo da primeira direção, desde a montante até a jusante do poço, predomina a curvatura convexa. Ao longo da direção W-E, ocorre principalmente a curvatura convexa, com ponto de inflexão acentuado a jusante do poço, configurando curvatura convexa.



(a)



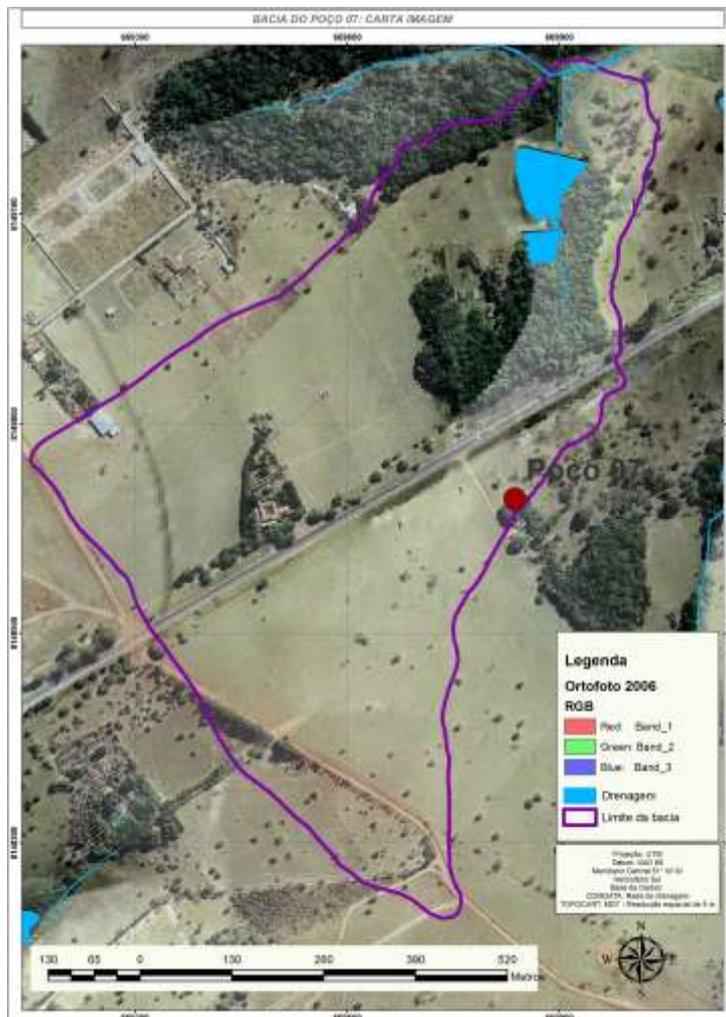
(b)

Figura 5.24 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 6: (a) direção norte-sul e (b) direção leste-oeste.

5.2.7 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 7

O Poço 7, ilustrado na Figura 5.25 (a), (b) e (c), está situado próximo à rodovia estadual GO-060, na região oeste de Goiânia. A área da bacia hidrográfica onde se encontra inserido o referido poço tem uma área de 51,107 ha (0,1km²), pertencente à bacia de um curso de

drenagem afluente do córrego Salinas. Situado no Sítio Cajueiro, a vegetação natural da bacia é Cerrado *stricto sensu* e Cerradão. O entorno do ponto selecionado à execução do poço é destinado à pastagem há aproximadamente 50 anos, segundo observação em campo.



(a)



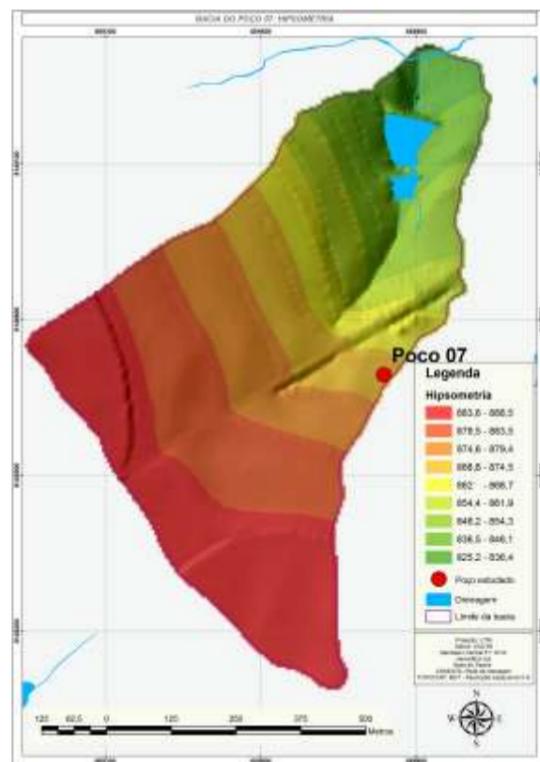
(b)



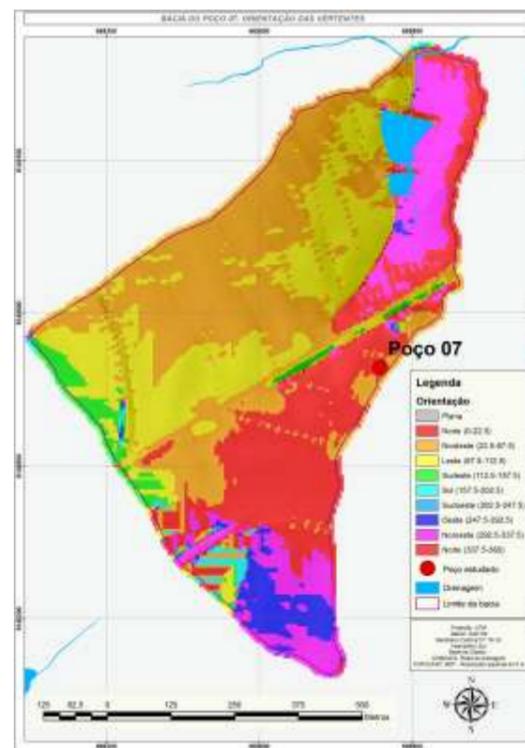
(c)

Figura 5.25 – (a) Carta imagem da área bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 7.

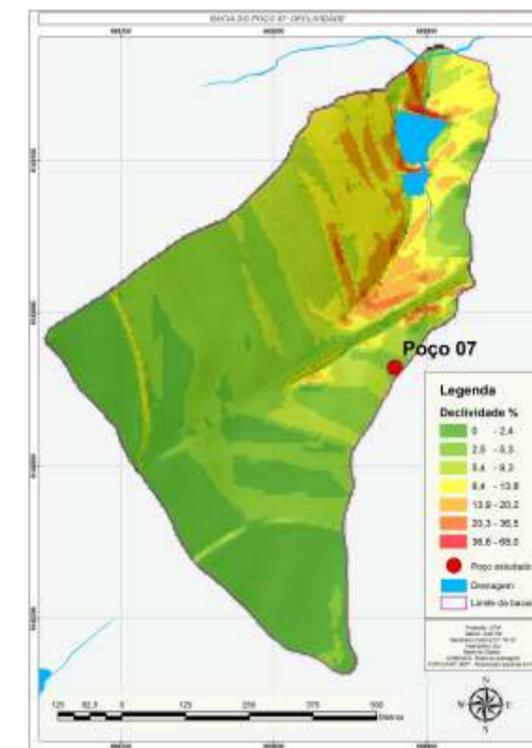
O modelo hipsométrico da área da bacia onde se encontra situado o Poço 7 aponta variações altimétricas entre 825,2 e 888,5 m, com amplitudes de até 63,3 m, consideradas grandes segundo IBGE (1995). Portanto, também para essa bacia há possibilidade de maior energia potencial relativa para a ocorrência de processos erosivos. A Tabela 5.34 e a Figura 5.26 (a) apresentam a hipsometria do Poço 7. O curso de drenagem é bem encaixado, e do poço até o canal de drenagem o desnível é 31 m em comprimento horizontal e de 320 m ao longo do perfil. Há presença de mata ciliar alterada.



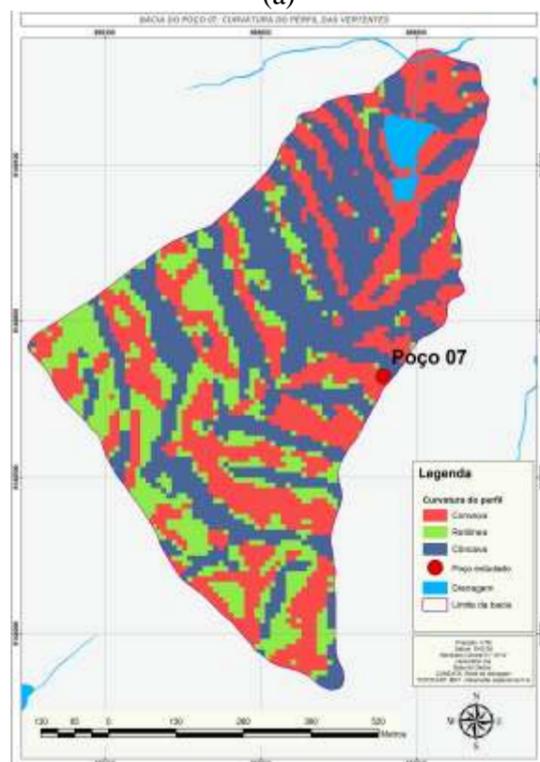
(a)



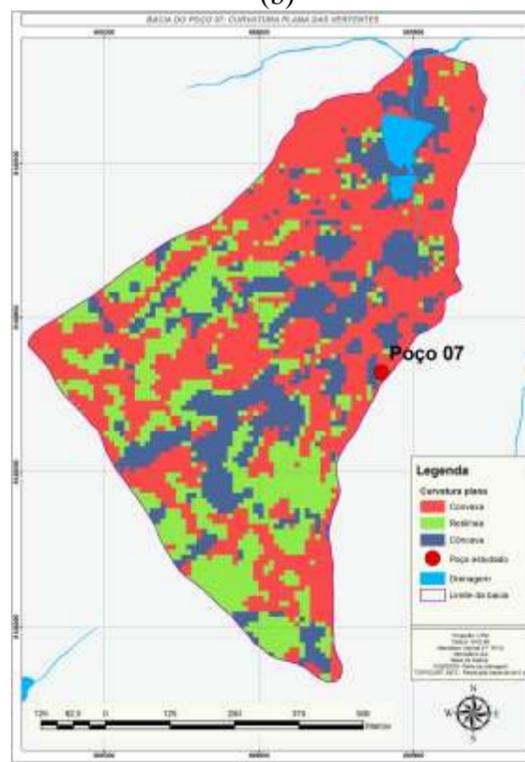
(b)



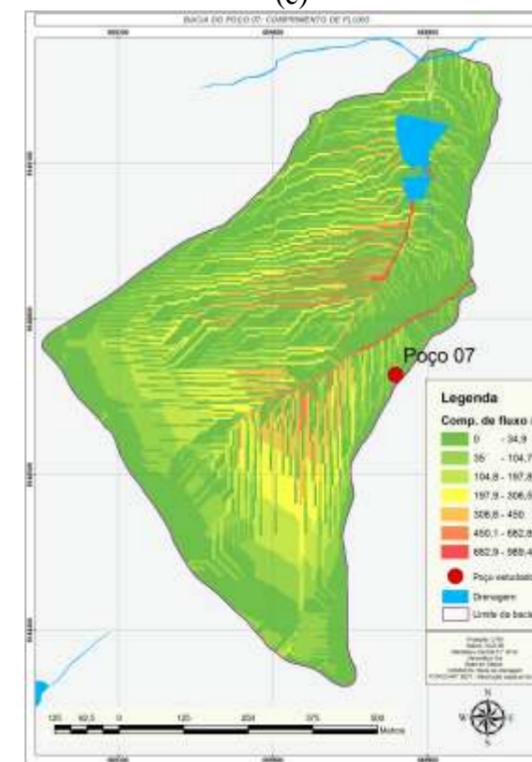
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.26 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o 7: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

A maior parte da bacia tem altitudes entre 874 e 888,5 m; no ponto onde o poço foi executado, a cota altimétrica de 872 m. As vertentes da bacia hidrográfica onde situa-se o Poço 7 indicam, a partir do modelo, direcionadas principalmente para o quadrante norte, conforme Tabela 5.35. O canal de drenagem da bacia do Poço 7 possui direção aproximada sul-norte, conforme Figura 5.26 (b), e o ponto onde o poço está posicionado na vertente tem orientação para N.

Tabela 5.34 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
825,2 – 836,4	1,31	2,57
836,5 – 846,1	2,47	4,83
846,2 – 854,3	2,80	5,48
854,4 – 861,9	3,75	7,34
862,0 – 868,7	3,69	7,22
868,8 – 874,5	4,73	9,25
874,6 – 879,4	6,53	12,79
879,5 – 883,5	9,72	19,02
883,6 – 888,5	16,09	31,49
Área total	51,10	100,00

Tabela 5.35 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	11,10	21,73
Nordeste – 22,5 – 67,5	17,24	33,73
Leste – 67,5 – 112,5	12,22	23,91
Sudeste – 112,5 – 157,5	1,46	2,37
Sul – 157,5 – 202,5	0,55	1,09
Sudoeste – 202,5 – 247,5	0,13	0,34
Oeste – 247,5 – 292,5	1,96	3,83
Noroeste – 292,5 – 337,5	6,39	12,50
Área Total	51,10	100,00

O modelo de declividade indica, para a bacia do respectivo poço, variações entre 0 e 68%. Conforme a Tabela 5.36, 78,45% da área apresentam declividades inferiores a 9,3%. Na Figura 5.26 (c) é observado que as áreas com declividades mais acentuadas ocorrem ao longo do canal de drenagem. Quanto ao local do Poço 7, o modelo aponta declividade de 4,6%. Quanto à curvatura do terreno, na maior parte da bacia ao longo do perfil (curvatura do perfil), predomina a curvatura côncava, como apresentado nos dados da Tabela 5.37 e na

Figura 5.26 (d). Já ao longo das curvas de nível (curvatura plana), há o predomínio da curvatura convexa, também de acordo com a Tabela 5.37. O modelo indica para o perfil, no entorno do Poço 7, curvatura côncava, dando indícios de aceleração do fluxo nesse entorno e, ao longo das curvas de nível, como a curvatura é convexa, de dispersão dos fluxos.

Tabela 5.36 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0-2,4	15,22	29,78
2,5 – 5,3	16,20	31,77
5,4 – 9,3	8,57	16,77
9,4 – 13,8	7,06	13,82
13,9 – 20,2	3,30	6,46
20,3 – 36,5	0,56	1,10
36,6 – 68,0	0,09	0,17
Área total	247,47	100,00

Tabela 5.37 – Curvaturas ao longo dos perfis e ao longo das curvas de nível na bacia do Poço 7 no Município de Goiânia-GO.

Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	19,66	38,47
Retilínea	10,52	20,60
Côncava	20,91	40,93
Área total	51,1	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	25,70	50,30
Retilínea	13,24	25,91
Côncava	12,16	23,79
Área total	51,1	100,00

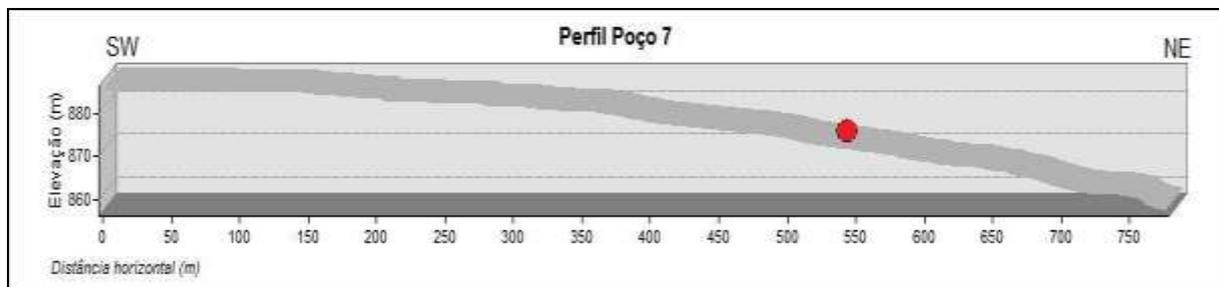
A área da bacia apresenta comprimento de fluxo de maior expressão entre 0 a 34,9 m para 55,88% da área, conforme Tabela 5.38 e Figura 5.26 (f). Deve também ser destacada a presença dos curtos comprimentos percorridos pela água de escoamento superficial nas vertentes com declividades baixas, de acordo com IBGE (1995). O Poço 7 está inserido no comprimento de fluxo variando entre 35 e 104,7 m, o que caracteriza, para o entorno do poço, comprimentos curtos a médios percorridos pela água de escoamento superficial, em vertente que apresenta declividades variando ao longo do perfil.

Na Figura 5.27 (a) e (b), são traçados os perfis nas direções SW-NE e NW-E, incluindo o ponto referente ao Poço 7, sendo observadas para ambas as direções que a vertente

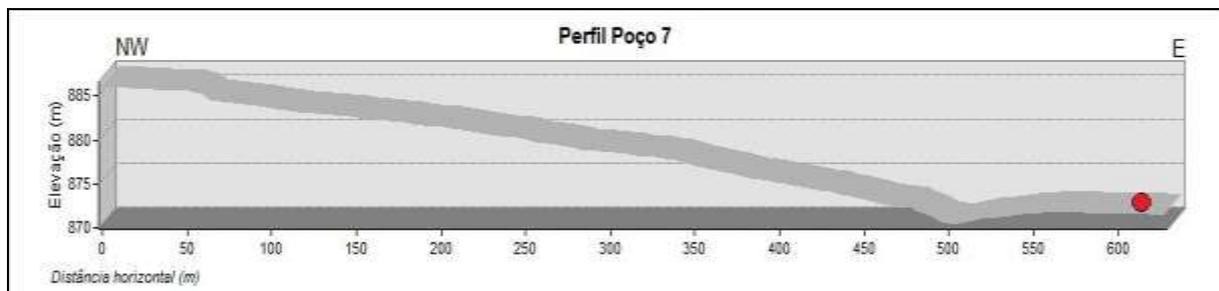
apresenta topo plano seguida de vertente rampeada, com predomínio de curvatura convexa.

Tabela 5.38 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 34,9	28,55	55,88
35,0 – 104,7	10,51	20,58
104,8 – 197,8	5,67	11,10
197,9 – 306,5	3,25	6,37
306,6 – 450,0	2,21	4,33
450,1 – 682,8	0,66	1,29
682,9 – 989,4	0,23	0,46
Área Total	51,10	100,00



(a)



(b)

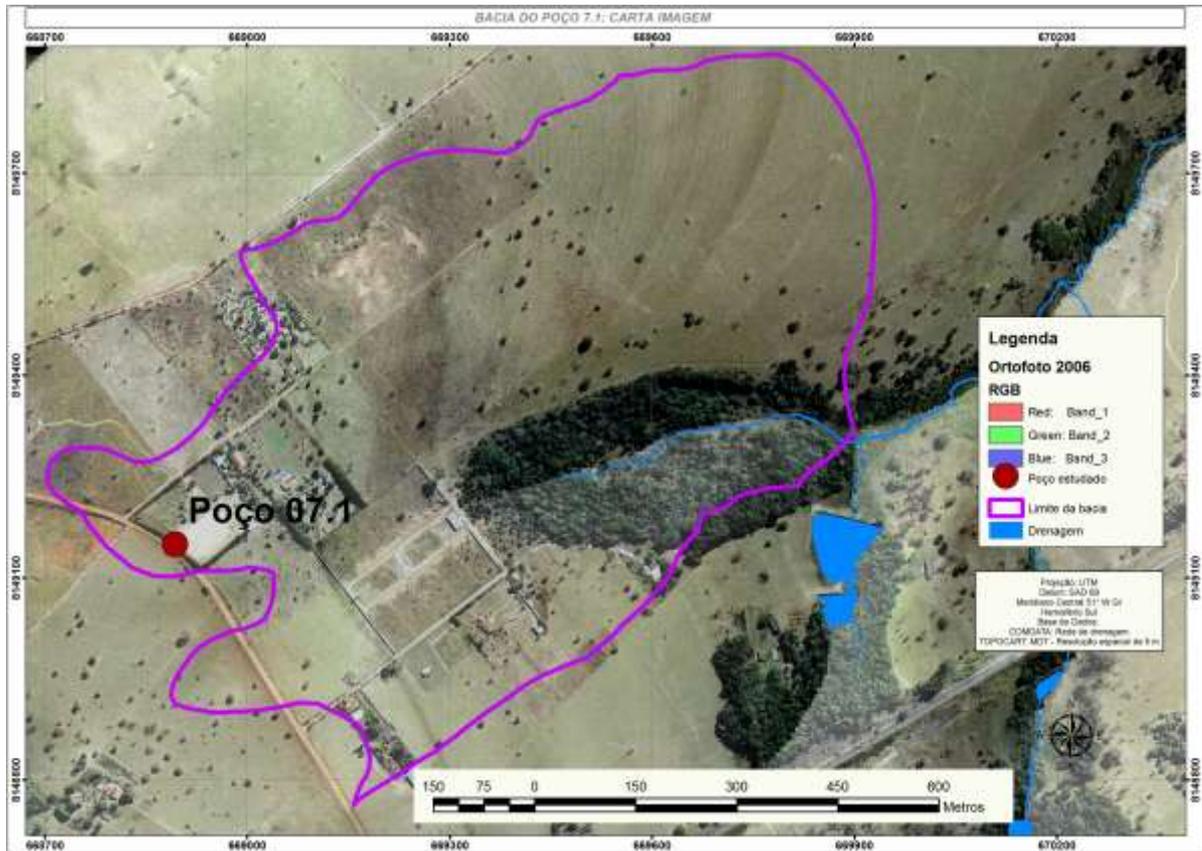
Figura 5.27 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 7: (a) direção sudoeste-nordeste e (b) direção noroeste-leste.

A posição do Poço 7 na vertente indica tendência de o fluxo de água de escoamento superficial percorrer caminhos de curtos a médios (35 a 104,7 m). No que se refere à velocidade do escoamento, é possível inferir que a infiltração é maior a montante do poço, mas do meio da vertente até a sua base é provável que a velocidade de escoamento superficial aumente, por causa da curvatura retilínea em rampas longas.

5.2.8 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 7.1

O Poço 7.1, cujo local é ilustrado na Figura 5.28 (a), (b) e (c), foi executado no bordo direito da rodovia municipal que liga a BR-060 à GO-469, mesma região onde Silva (2010) realizou

o seu trabalho de pesquisa. A bacia desse poço tem uma área de 73,72 ha (0,74 km²), pertencente também ao canal de drenagem afluente do córrego Salinas. A vegetação natural é do tipo Cerrado *stricto sensu*, mas no entorno do ponto selecionado é cultivada pastagem, do tipo braquiara.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.28 – (a) Carta imagem da área da bacia; (b) e (c) localização do Poço 7.1.

O modelo hipsométrico aponta, para a área dessa bacia, variações altimétricas entre 825,5 a 889,7 m, com amplitudes de até 64,2 m, consideradas grandes de acordo com os critérios do

IBGE (1995), o que permite inferir elevado potencial de energia potencial relativa para a ocorrência de processos erosivos. Essas informações são confirmadas pela Tabela 5.39 e pela Figura 5.29 (a). O curso de drenagem dessa bacia é encaixado; do poço até o curso d'água, o desnível é de até 63 m, em 580 m ao longo do perfil de maior inclinação. Deve ser destacada a presença de mata ciliar na cabeceira e ao longo do curso da drenagem. A maior parte da bacia apresenta altitudes entre 873 e 889,7 m. O local onde o poço foi executado apresenta cota altimétrica de 889 m.

O canal de drenagem da bacia do Poço 7.1 possui direção aproximada oeste-leste. O modelo indica vertentes com orientação principalmente para leste e nordeste, conforme apresentam a Tabela 5.40 e a Figura 5.29 (b). O poço está inserido na porção da vertente cuja orientação é de NE.

Tabela 5.39 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
825,5 – 838,2	1,82	2,47
838,3 – 846,9	3,31	4,49
847,0 – 854,2	4,94	6,70
854,3 – 860,8	7,31	9,92
860,9 – 867,0	8,07	10,94
867,1 – 873,1	8,57	11,62
873,2 – 878,7	9,29	12,61
878,8 – 883,8	14,23	19,31
883,9 – 889,7	16,18	21,95
Área total	73,72	100,00

Tabela 5.40 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	4,50	6,10
Nordeste – 22,5 – 67,5	21,63	29,34
Leste – 67,5 – 112,5	28,80	39,07
Sudeste – 112,5 – 157,5	15,85	21,50
Sul – 157,5 – 202,5	2,43	3,29
Sudoeste – 202,5 – 247,5	0,15	0,21
Oeste – 247,5 – 292,5	0,10	0,14
Noroeste – 292,5 – 337,5	0,25	0,34
Área Total	73,72	100,00

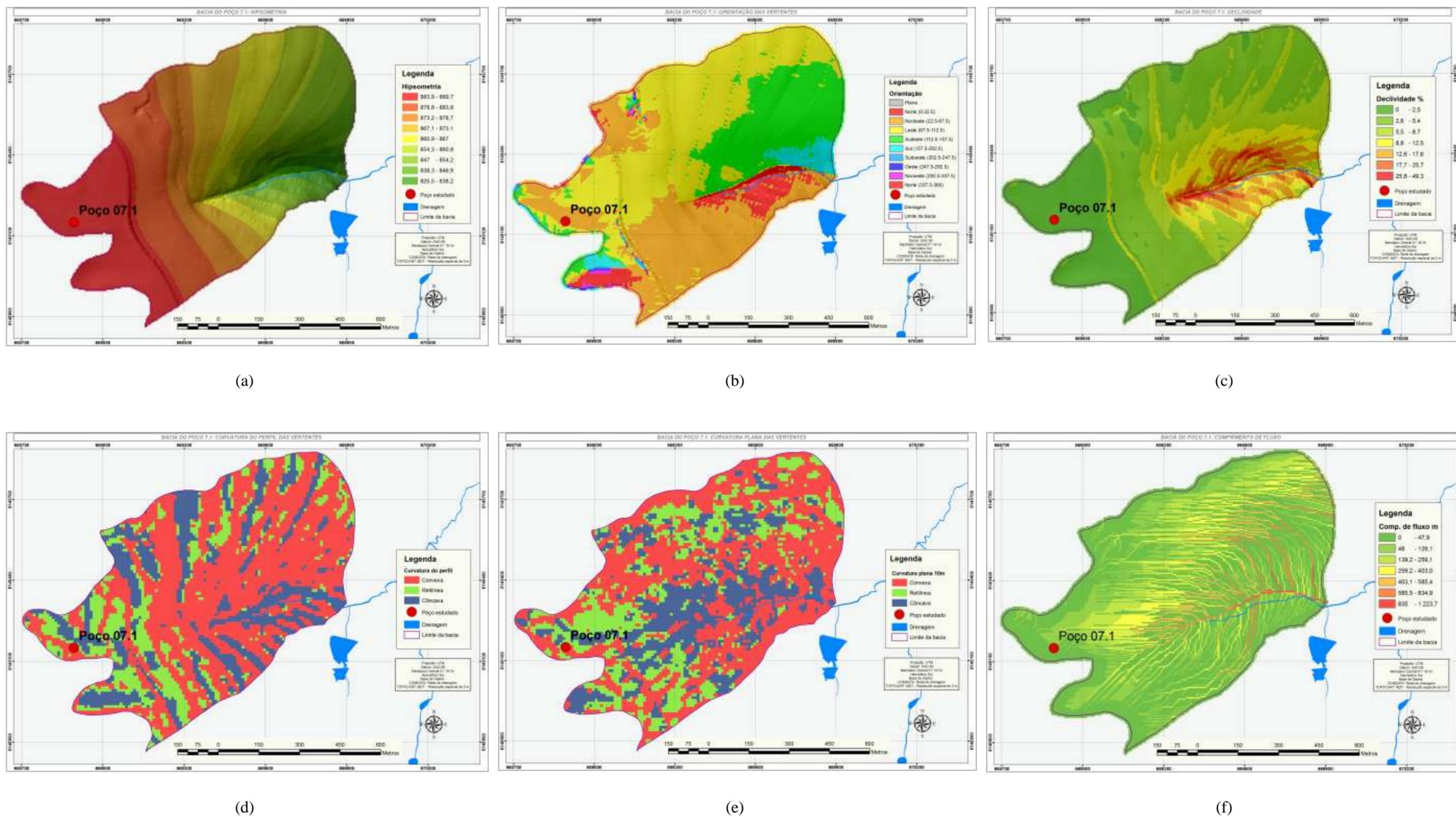


Figura 5.29 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

O modelo das declividades da área da bacia indica variações entre 0 e 49,3%, conforme Tabela 5.41. Pela citada tabela, pode-se abstrair que 78,42% da área apresentam declividades inferiores a 8,7%. Pela Figura 5.29 (c), são observadas declividades mais acentuadas, tanto nas vertentes, quanto ao longo do curso de drenagem. No que se refere ao ponto do Poço 7.1, o modelo aponta declividade de 1,44%, indicando, para o seu entorno, tendência de aumento da infiltração, em detrimento do escoamento superficial d'água.

Tabela 5.41 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 2,5	15,63	21,20
2,6 – 5,4	27,24	36,96
5,5 – 8,7	14,94	20,26
8,8 – 12,5	7,65	10,37
12,6 – 17,6	5,57	7,55
17,7 – 25,7	2,22	3,00
25,8 – 49,3	0,48	0,64
Área total	73,72	100,00

No que se refere à curvatura do terreno, a maior parte da bacia apresenta, tanto para a curvatura em perfil quanto ao longo das curvas de nível (curvatura plana), o predomínio da curvatura convexa, como pode ser visto na Tabela 5.42 e Figura 5. 29 (e). O Poço 7.1 está posicionado na vertente de forma que apresenta, no perfil, curvatura convexa e, ao longo da curva de nível, curvatura retilínea, o que permite inferir que, no entorno do poço, a dinâmica do fluxo é de dispersão, que pode ser potencializada pela forma retilínea em rampas extensas de baixa declividade.

Tabela 5.42 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO.

Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	41,77	56,67
Retilínea	13,75	18,65
Côncava	18,19	24,68
Área total	73,72	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	36,66	49,73
Retilínea	18,46	25,04
Côncava	18,60	25,23
Área total	73,72	100,00

A área da bacia apresenta comprimento de fluxo de maior expressão entre 0 a 47,0 m, para

57,60% da área, conforme Tabela 5.43 e Figura 5.29 (f), o que permite inferir, para essa bacia, baixo comprimento de fluxo, indicando variação das formas em superfície. O Poço 7.1 está inserido no comprimento de fluxo entre 0 a 72,5 m. Especificamente no ponto é indicado 0,0 m de comprimento de fluxo, o que permite inferir que a dinâmica da água superficial no seu entorno é principalmente de infiltração.

Tabela 5.43 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 7.1 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 47,9	42,46	57,60
48,0 – 139,1	14,31	29,41
139,2 – 259,1	7,98	10,82
259,2 – 403,0	4,81	6,52
403,1 – 585,4	2,85	3,87
585,5 – 834,9	1,04	1,41
835,0 – 1223,7	0,27	0,36
Área Total	73,72	100,00

A Figura 5.30 (a) e (b) apresenta o perfil representativo da vertente do Poço 7.1 e o próprio poço, nas direções W-E e NW-SE. A partir de perfis traçados, pode ser observado que, na vertente ao longo da primeira direção, desde a montante até meia vertente, há o predomínio de curvatura retilínea, para a partir daí apresentar tendência de curvatura convexa. Até o canal de drenagem é encontrada curvatura côncava.

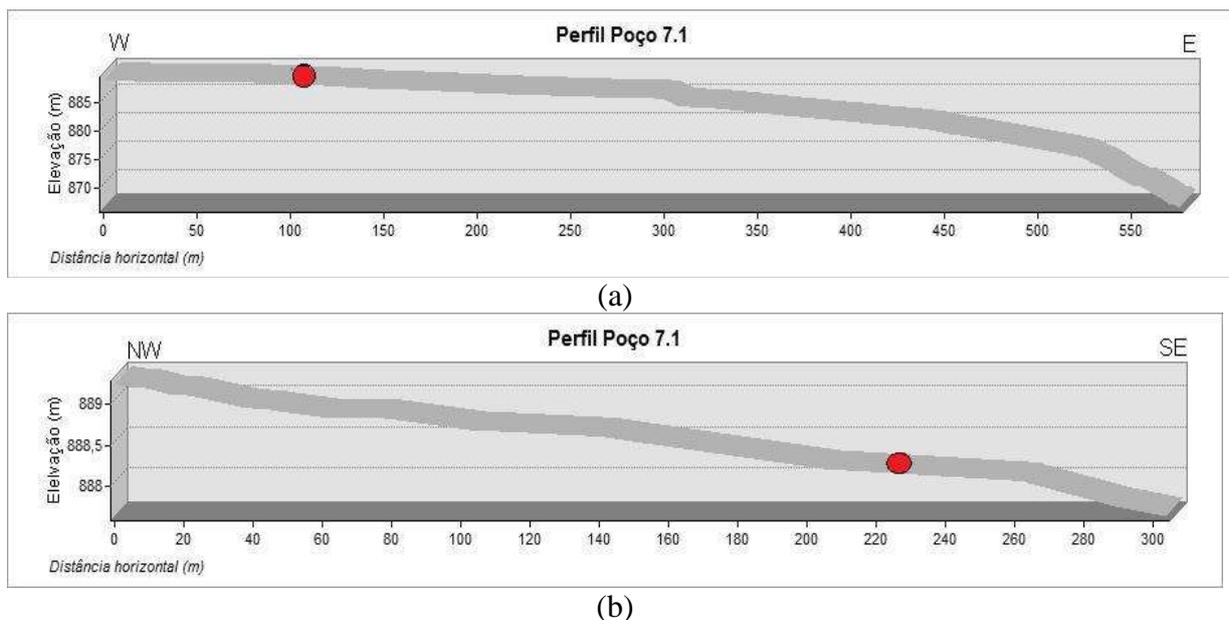
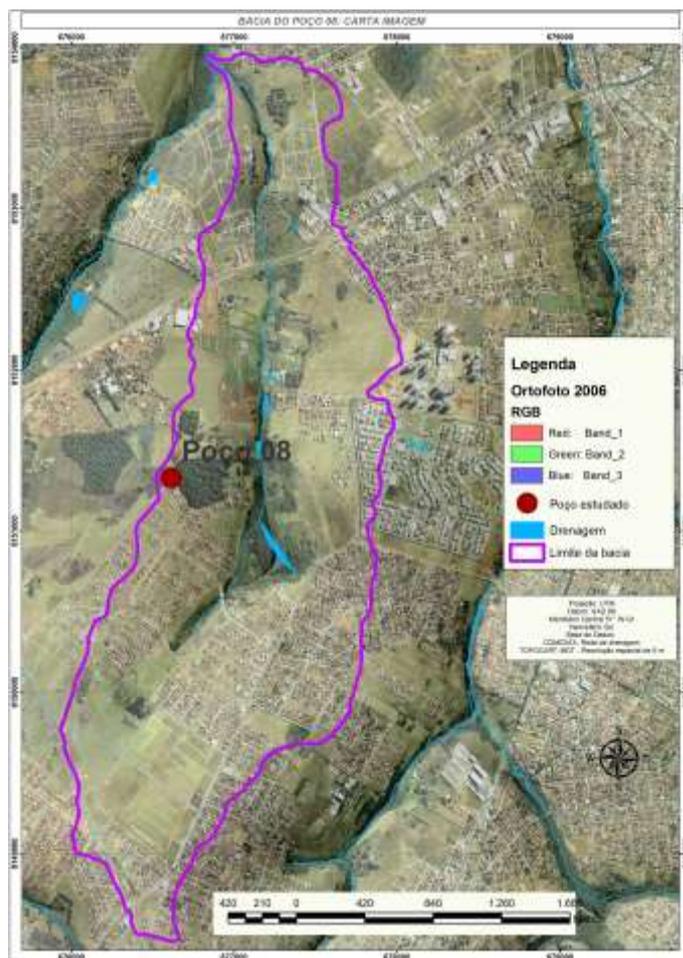


Figura 5.30 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 7.1: (a) direção oeste-leste e (b) direção noroeste-sudeste.

Ao longo da direção NW-SE, ocorrem, intercaladas, curvaturas côncava, convexa e retilínea de vertente rampeada, com baixas declividades. Considerando a posição do Poço 7.1 na vertente, é possível inferir que, no entorno do poço, há tendência de o escoamento superficial da água percorrer caminhos curtos (0-47,0 m), por causa das variações de declividade. Quanto à velocidade do escoamento, é possível supor que a infiltração da água é maior no entorno do poço com risco de arrancamento de material inconsolidado, pela possível aceleração do fluxo difuso ao longo da curvatura convexa do perfil e aumento da curvatura retilínea em rampas extensas, com baixas declividades.

5.2.9 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 8

O Poço 8, apresentado na Figura 5.31 (a), (b) e (c), está localizado na porção de sudoeste de Goiânia, no setor residencial Funcionário Público. A bacia do Poço 8 tem uma área de 595,71 ha (5,96 km²), pertencente à bacia do córrego Santa Rita, afluente do córrego Taquaral.



(b)



(c)

Figura 5.31 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 8.

A vegetação natural dessa bacia é do tipo Cerradão e, no local do poço, recentemente desmatada, é encontrada a cobertura rasteira do tipo gramínea “invasora”. O modelo hipsométrico aponta, para a área inserida nessa bacia, conforme Tabela 5.44 e Figura 5.32 (a), variações altimétricas entre 730 e 846,2 m, com amplitudes de até 116 m, muito grandes, segundo os critérios do IBGE (1995). Isso indica elevada energia potencial relativa à ocorrência de processos erosivos na bacia. O curso da drenagem nessa bacia encontra-se encaixado. Do poço até o curso d’água, o desnível é 25,13 m em 576 m ao longo da sua linha de maior inclinação na vertente. A maior parte da bacia tem altitudes entre 765 e 817 m. O Poço 8 foi executado na cota altimétrica de 796 m.

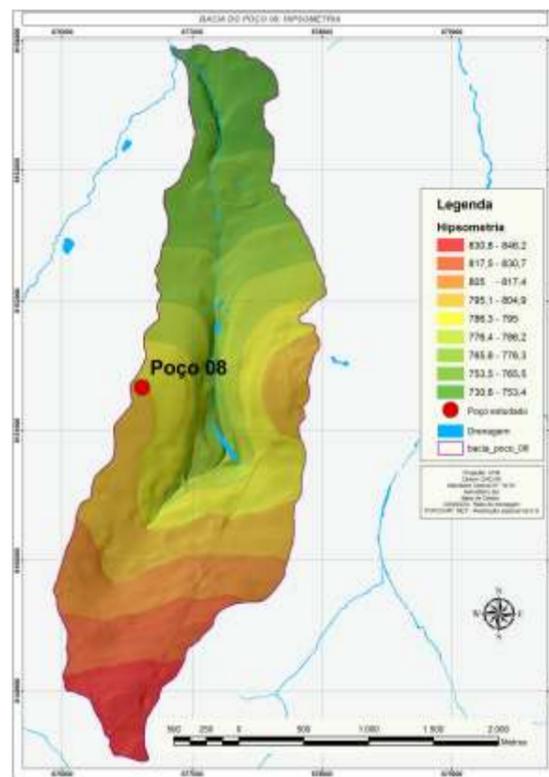
Tabela 5.44 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
730,6 – 753,4	19,75	3,32
753,5 – 756,5	51,19	8,59
756,6 – 776,3	65,43	10,98
776,4 – 786,2	83,71	14,05
786,3 – 795,0	113,25	19,01
795,1 – 804,9	116,54	19,56
805,0 – 817,4	66,96	11,24
817,5 – 830,7	46,72	7,84
830,8 – 846,2	32,16	5,40
Área total	595,71	100,00

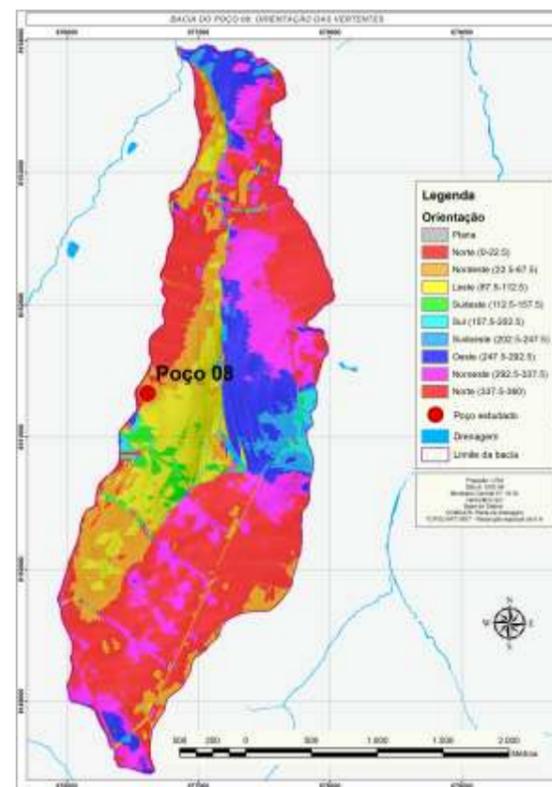
O canal de drenagem da bacia do Poço 8 possui direção aproximada sul-norte, o que reflete no predomínio da orientação da vertente, conforme Tabela 5.45 e Figura 5.32 (b). O Poço 8 está posicionado na vertente com orientação de NE. O modelo de declividades indica, para a bacia do Poço 8, variações entre 0 e 44,6%.

Tabela 5.45 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8 no Município de Goiânia-GO.

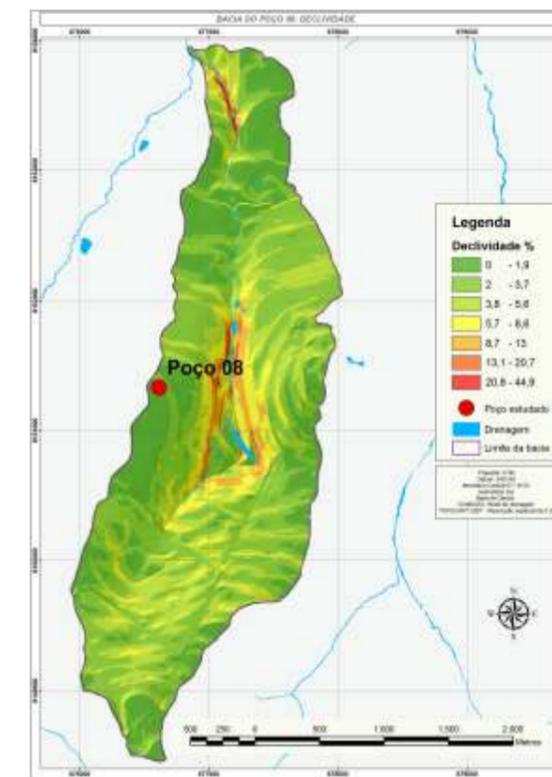
Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	237,41	39,85
Nordeste – 22,5 – 67,5	84,67	14,21
Leste – 67,5 – 112,5	67,23	11,29
Sudeste – 112,5 – 157,5	13,37	2,24
Sul – 157,5 – 202,5	8,14	1,37
Sudoeste – 202,5 – 247,5	17,13	2,88
Oeste – 247,5 – 292,5	62,69	10,52
Noroeste – 292,5 – 337,5	105,06	17,64
Área Total	595,71	100,00



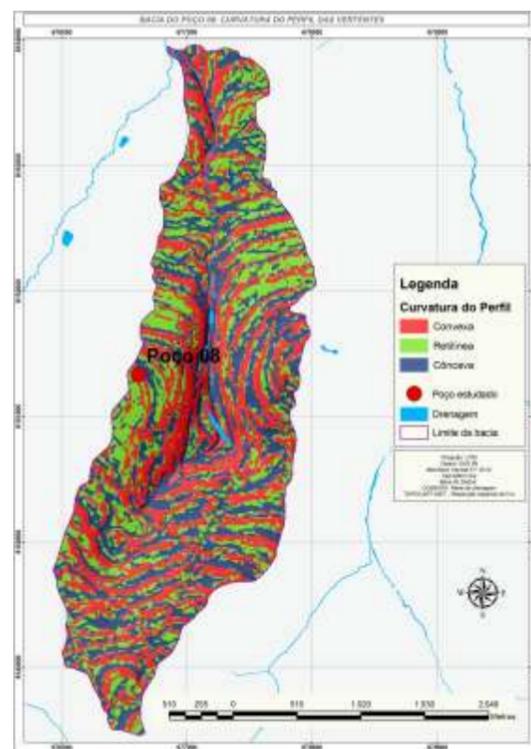
(a)



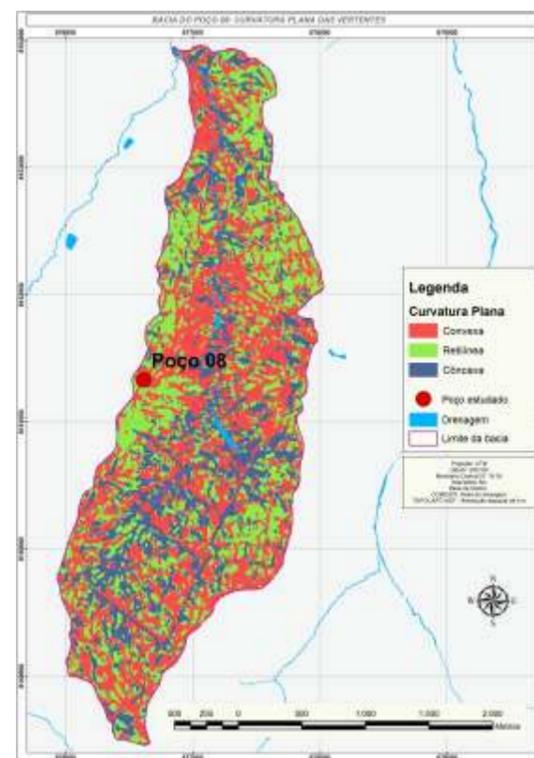
(b)



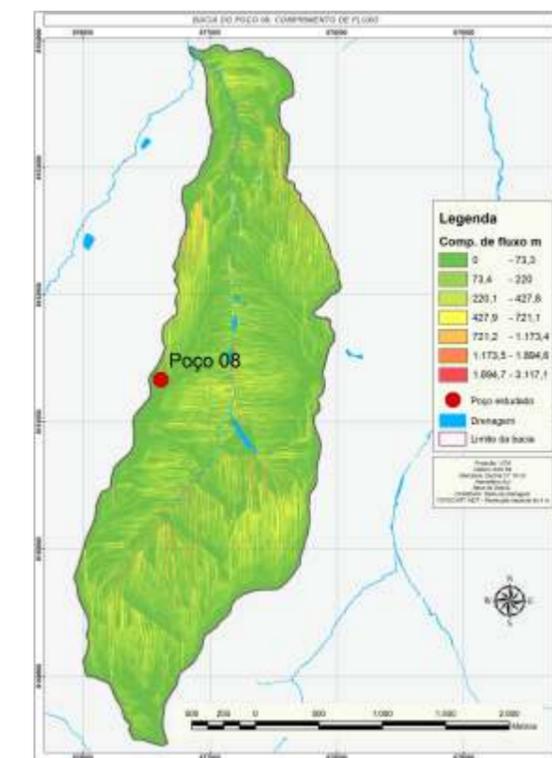
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.32 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

Conforme Tabela 5.46, 87,81% da área apresentam declividade inferior a 5,6%. Conforme observado na Figura 5.32 (c), as áreas com declividades mais acentuadas referem-se às vertentes da drenagem, desde a cabeceira até a jusante. O modelo de declividades aponta, para o Poço 8, declividade de 1,15%. As declividades no entorno do poço propõem, para esse ponto, tendência ao aumento da infiltração em detrimento do escoamento superficial.

Tabela 5.46 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0-1,9	150,18	25,21
2,0 – 3,7	240,99	40,45
3,8 – 5,6	131,95	22,15
5,7 – 8,6	47,49	7,97
8,7 – 13,0	18,92	3,18
13,1 – 20,7	5,25	0,88
20,8 – 44,9	0,93	0,16
Área total	595,71	100,00

O modelo da curvatura do terreno indica o predomínio da curvatura convexa tanto ao longo da linha de maior inclinação (curvatura no perfil) quanto ao longo das curvas de nível (curvatura no plano), segundo os dados da Tabela 5.47. Ao longo da linha de maior inclinação, o modelo indica as curvaturas convexas e côncavas a montante que, a partir da meia vertente, são intercaladas com a curvatura retilínea, principalmente no interflúvio, e estende-se até a calha do canal do córrego, conforme Figura 5.32 (d).

Tabela 5.47 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível na bacia do Poço 8 no Município de Goiânia-GO.

Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	230,90	38,76
Retilínea	164,66	27,64
Côncava	200,15	33,60
Área total	595,71	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	250,07	41,98
Retilínea	196,95	33,06
Côncava	148,69	24,96
Área total	595,71	100,00

No modelo ao longo das curvas de nível (curvatura plana), ocorrem intercaladas as curvaturas convexas, côncavas e retilíneas. É ressaltado que a curvatura côncava ocorre principalmente a montante da cabeceira da drenagem, e a retilínea, nos topos dos interflúvios das duas margens do córrego. A Figura 5.32 (e) ilustra a curvatura plana da bacia em estudo. O modelo aponta, para o Poço 8, curvatura convexa ao longo da linha de maior inclinação e curvatura retilínea, ao longo das curvas de nível.

Nessa bacia hidrográfica, o comprimento de fluxo de maior expressão é de 0 a 73 m, para 57,31% da área, conforme Tabela 5.48 e Figura 5.32 (f). Esse aspecto permite inferir que ocorre principalmente baixo comprimento de fluxo, mas, devido à alteração no uso do solo, há possibilidade de aumento da velocidade do escoamento da água superficial. O Poço 8 está inserido no comprimento de fluxo, variando entre 0 e 73,3 m, sendo possível destacar, para o entorno do poço, os curtos comprimentos percorridos pela água no escoamento superficial na vertente quase plana.

Tabela 5.48 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 8 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 73,3	341,37	57,31
73,4 – 220,0	143,55	24,10
220,1 – 427,8	66,55	11,17
427,9 – 721,1	30,18	5,07
721,2 – 1173,4	10,26	1,72
11,73,5 – 1894,6	2,97	0,50
18,94,7	0,84	0,14
Área total	595,71	100,00

A análise dos perfis traçados nas direções N-S e W-E, incluindo o ponto referente ao Poço 8, na Figura 5.33 (a) e (b), permite concluir que, para a primeira direção, desde a montante até a meia vertente, há o predomínio de curvatura convexa retilínea ao longo da vertente, seguida de uma curvatura côncava para novamente convexa até a cabeceira da drenagem. Ao longo da direção W-E, na margem esquerda, ocorre curvatura convexa ao longo da vertente.

Considerando a posição do Poço 8 na vertente, é possível prever que a tendência do fluxo de água de escoamento superficial é percorrer caminhos curtos (0-73,3 m), por causa das variações de declividade. Quanto ao escoamento, é possível inferir que há tendência do escoamento difuso no entorno do poço. Também há a possibilidade de aumento da velocidade

do escoamento da água superficial nesse ponto, pela possível aceleração do fluxo difuso ao longo da curvatura convexa, na sua linha de maior inclinação, culminando na retirada de material inconsolidado.

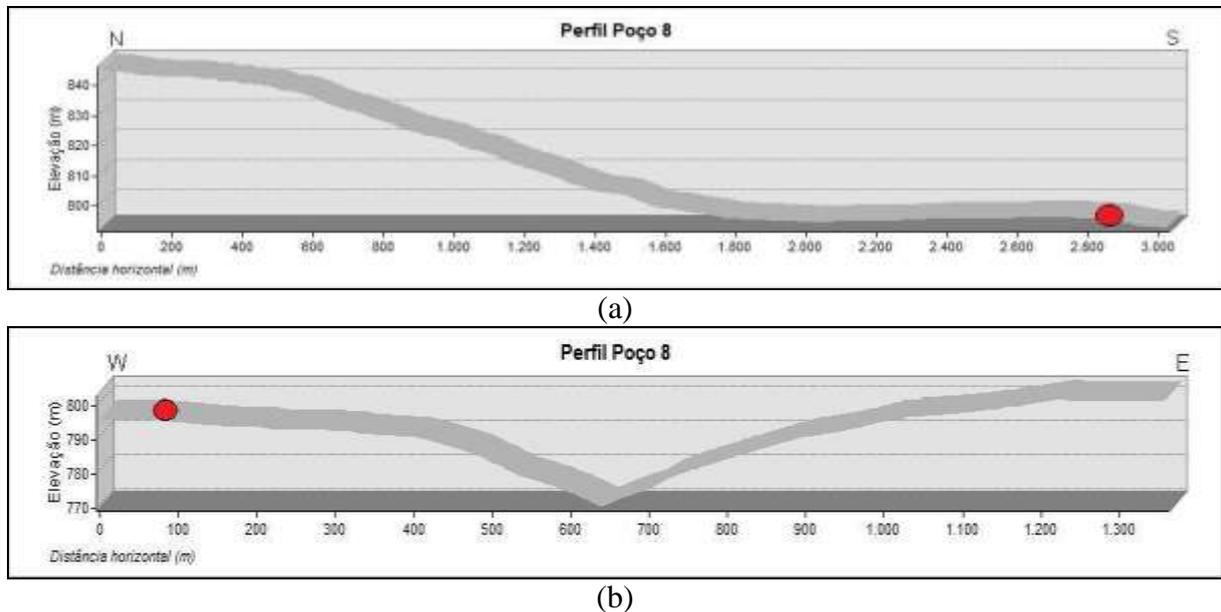


Figura 5.33 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 8: (a) direção norte-sul e (b) direção oeste-leste.

5.2.10 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA BACIA E DO POÇO 9

O Poço 9, ilustrado na Figura 5.34 (a), (b) e (c), está situado no Centro Administrativo Municipal de Goiânia, na porção sul do município. A bacia apresenta área de 156,39 ha (1,56 km²), concernente à bacia do córrego da Mina, afluente do córrego Água Branca. A vegetação natural da bacia é do tipo Cerrado *stricto sensu*, mas, no entorno do ponto selecionado para a execução do poço, está alterada e atualmente destinada à preservação.

O modelo hipsométrico indica que a área dessa bacia apresenta variações altimétricas de 722 a 842,4 m, com amplitudes altimétricas de até 120 m, definidas como muito grandes, segundo IBGE (1995). Esse aspecto indica maior potencial da bacia à ocorrência dos processos erosivos. Na Tabela 5.49 e na Figura 5.35 (a), podem ser comprovadas essas informações.

O curso de drenagem dessa bacia é encaixado, e o córrego é de pequena dimensão com vegetação de mata ciliar esparsa e alterada. Do poço até o curso d'água o desnível é 25,13 m, em 576 m ao longo da linha de maior inclinação na vertente. A maior parte da bacia tem altitudes entre 762 e 816 m. O ponto onde o poço foi executado apresenta cota altimétrica de 825 m. O canal de drenagem da bacia do Poço 9 possui direção aproximada sudoeste-norte, de

acordo com os dados da Tabela 5.50, e pode ser visto na Figura 5.35 (b). O poço está posicionado na vertente cuja orientação é de SE.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.34 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 9.

Tabela 5.49 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
722,1 – 746,7	4,82	3,08
746,8 – 762,7	8,22	5,25
762,8 – 774,2	16,34	10,45
774,3 – 785,3	27,00	17,27
785,4 – 796,5	23,71	15,16
796,6 – 806,2	22,88	14,63
806,3 – 816,1	23,57	15,07
816,2 – 827,8	15,52	9,92
827,9 – 842,4	14,35	9,17
Área total	156,39	100,00

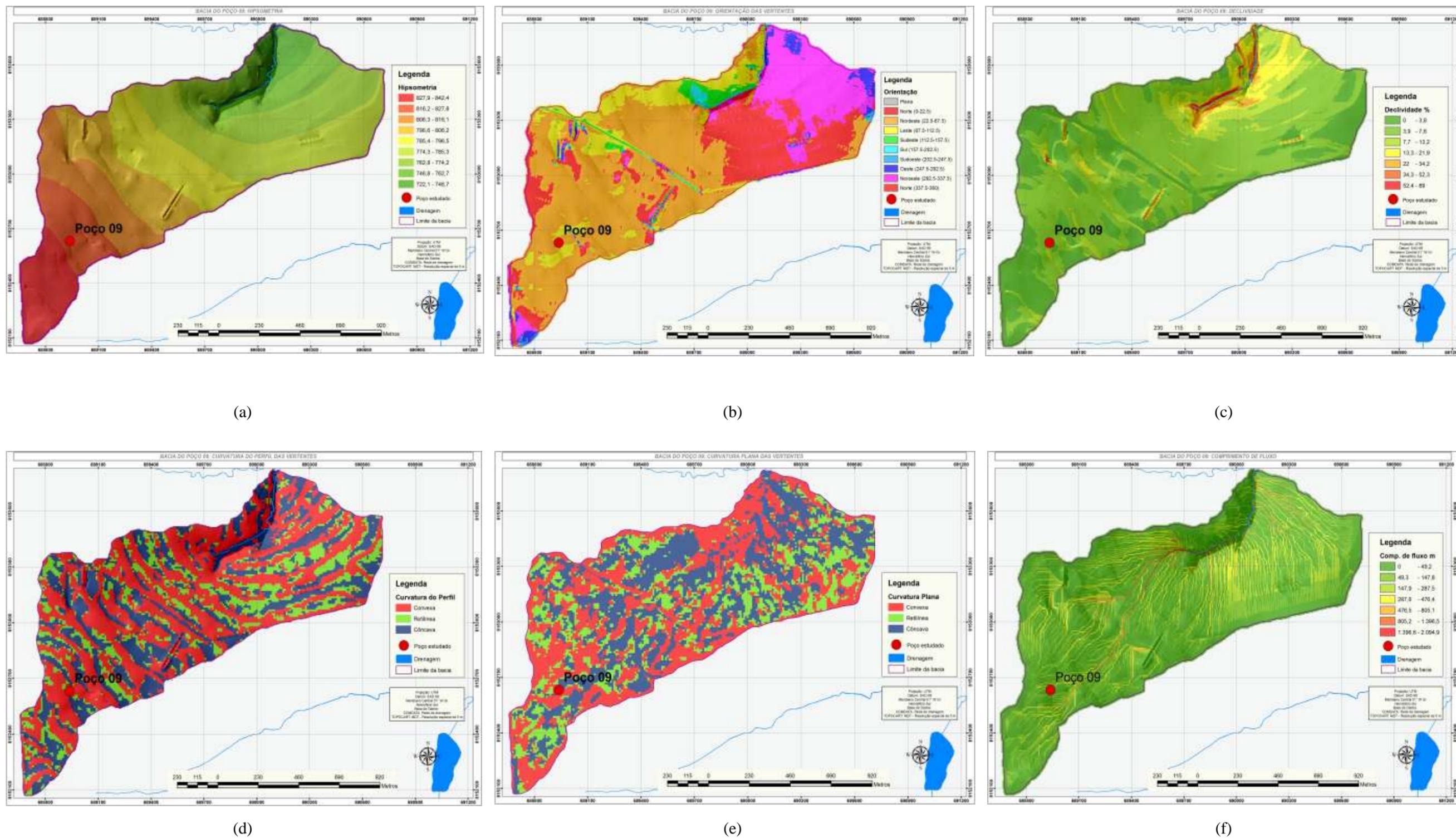


Figura 5.35 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

Tabela 5.50 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	32,72	20,92
Nordeste – 22,5 – 67,5	71,64	45,80
Leste – 67,5 – 112,5	18,10	11,57
Sudeste – 112,5 – 157,5	3,96	2,53
Sul – 157,5 – 202,5	1,24	0,79
Sudoeste – 202,5 – 247,5	0,57	0,37
Oeste – 247,5 – 292,5	3,35	2,14
Noroeste – 292,5 – 337,5	24,82	15,87
Área Total	156,39	100,00

O modelo de declividades indica, para a área da bacia hidrográfica onde o Poço 9 situa-se, variações entre 0 e 89,0%. Conforme Tabela 5.51, 80,35% da área apresentam declividades inferiores a 7,6%. Já na Figura 5.35 (c), pode ser observado que as áreas com declividades mais acentuadas ocorrem junto ao canal de drenagem. O modelo indica, para o Poço 9, declividade de 2,93%, do que é possível indicar que as declividades no entorno do poço apresentam tendência à infiltração.

Tabela 5.51 – Declividades na bacia do Poço 9 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 3,8	43,78	27,99
3,9 – 7,6	81,88	52,36
7,7 – 13,2	19,26	12,32
13,3 – 21,9	7,13	4,56
22,0 – 34,2	2,89	1,85
34,3 – 52,3	1,01	0,64
52,4 – 89,0	0,43	0,28
Área total	156,39	100,00

Quanto à curvatura do terreno, predomina, na bacia, a curvatura convexa, tanto no perfil como ao longo das curvas de nível (curvatura plana), como pode ser constatado na Tabela 5.52 e Figura 5.35 (d). O modelo indica, ao longo das curvas de nível, principalmente a curvatura convexa, intercalada com a côncava e a retilínea, de acordo com a Figura 5.35 (e). Considerando o entorno do Poço 9, o modelo detecta curvatura convexa ao longo da linha de maior inclinação na vertente, indicando dispersão do fluxo, e curvatura côncava ao longo das curvas de nível, com possível desaceleração do fluxo.

Para o comprimento de fluxo, a área da bacia aponta maior expressão entre 0 a 49,2 m, para

65% da área, conforme Tabela 5.53 e Figura 5.35 (f). Esse fato permite inferir, para essa bacia, curto comprimento de fluxo, devido às variações nas declividades, com possibilidades de aumento na velocidade do escoamento da água superficial em função das alterações no uso do solo. O Poço 9 está inserido no comprimento de fluxo, variando entre 49,3 a 147,8 m, do que é possível destacar curtos a médios comprimentos percorridos pela água de escoamento superficial.

Tabela 5.52 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO.

Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	78,40	50,13
Retilínea	29,84	19,08
Côncava	48,15	30,79
Área total	156,39	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	63,81	40,80
Retilínea	37,34	23,87
Côncava	55,24	35,32
Área total	156,39	100,00

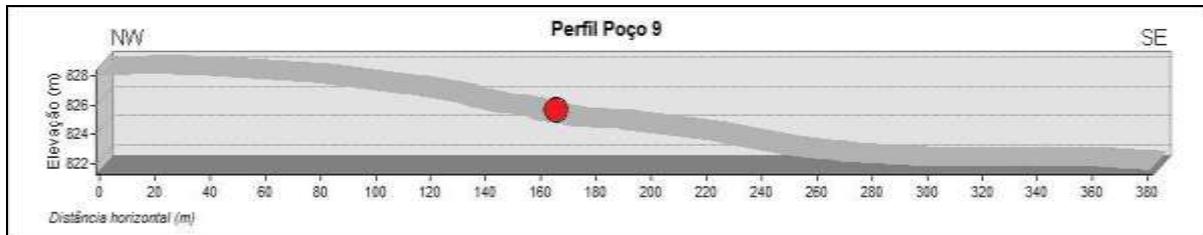
Tabela 5.53 – Comprimentos de fluxo na área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 9 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 49,2	101,64	64,99
49,3 – 147,8	29,78	19,04
147,9 – 287,5	13,88	8,87
287,6 – 476,4	7,02	4,49
476,5 – 805,1	3,32	2,13
805,2 – 1396,5	0,47	0,30
1396,6 – 2094,2	0,29	0,18
Área total	156,39	100,00

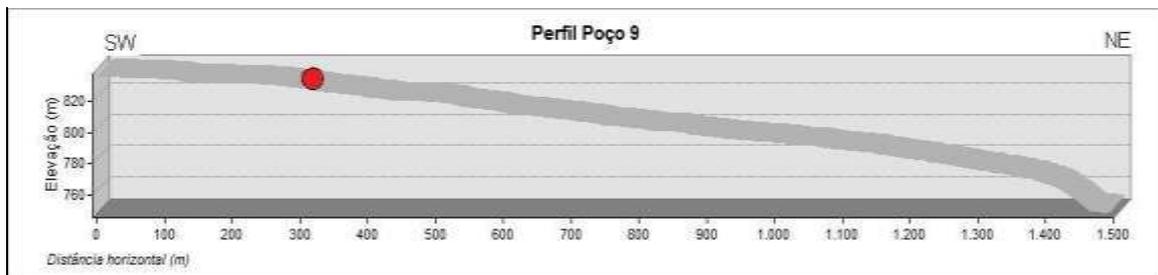
A partir de perfis traçados nas direções NW-SE e SW-NE, incluindo o ponto referente ao Poço 9, pode ser percebido que, na vertente ao longo da primeira direção, desde a montante até a cabeceira da drenagem, há o predomínio de curvatura convexa. Ao longo da direção SW-NE, predomina principalmente a curvatura convexa. Na Figura 5.36 (a) e (b), são traçados os perfis representativos da vertente onde está inserido o poço em estudo.

Considerando a posição do Poço 9 na vertente, é possível inferir que a tendência do fluxo de água de escoamento superficial difuso é percorrer caminhos curtos a médios (49,3-147,8 m), ao longo da linha de maior inclinação da sua vertente, podendo ocorrer a retirada de material

inconsolidado nesse ponto. Por outro lado, há ainda a possibilidade de acúmulo desse material devido à desaceleração do fluxo na curvatura côncava, ao longo das curvas de nível.



(a)



(b)

Figura 5.36 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 9: (a) direção noroeste-sudeste e (b) direção sudoeste-nordeste.

5.2.11 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DA BACIA E DO POÇO 10

O Poço 10, mostrado na Figura 5.37 (a), (b) e (c), está localizado no Campus II da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-Goiás), porção sudeste do município, pertencente à bacia de curso de drenagem afluente do córrego São Nicolau e com uma área de 222,28 (ha) (2,22 km²). A vegetação natural da bacia é do tipo Cerrado *stricto sensu*, mas o entorno do ponto selecionado para a execução do poço está destinado à pastagem cultivada.

O modelo hipsométrico indica, para a área da bacia hipsométrica onde se encontra o Poço 10, variações altimétricas entre 736 e 820 m, com amplitudes altimétricas de até 84 m, consideradas grandes, de acordo com os critérios do IBGE (1995), com risco de ocorrência de processos erosivos. O curso de drenagem está encaixado, com presença de mata ciliar alterada e característica de anfiteatro junto às cabeceiras. Do poço até o curso d'água, o desnível é de 19 m em 420 m ao longo da linha de maior inclinação na vertente. A maior parte da bacia tem altitudes entre 773 e 809 m. O poço foi executado na cota altimétrica de 781 m. Na Tabela 5.54 e Figura 5.38 (a), são apresentados os dados relativos à hipsometria do local.

O canal de drenagem dessa bacia apresenta direção aproximada noroeste-sul, com o

predomínio da orientação da vertente para sudeste, de acordo com a Tabela 5.55 e Figura 5.38 (b). O Poço 10 está posicionado na vertente com orientação NW.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.37 – (a) Carta imagem da área da bacia hidrográfica; (b) e (c) localização do Poço 10.

Tabela 5.54 – Hipsometria da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO.

Altimetria (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
736,0 – 755,3	3,90	1,75
755,4 – 765,8	9,39	4,23
765,9 – 773,3	19,96	8,98
773,4 – 779,7	28,18	12,68
779,8 – 786,2	44,14	19,86
786,3 – 793,2	34,88	15,69
793,3 – 800,7	35,85	16,13
800,8 – 809,7	30,86	13,88
809,8 – 820,0	15,12	6,80
Área total	222,28	100,00

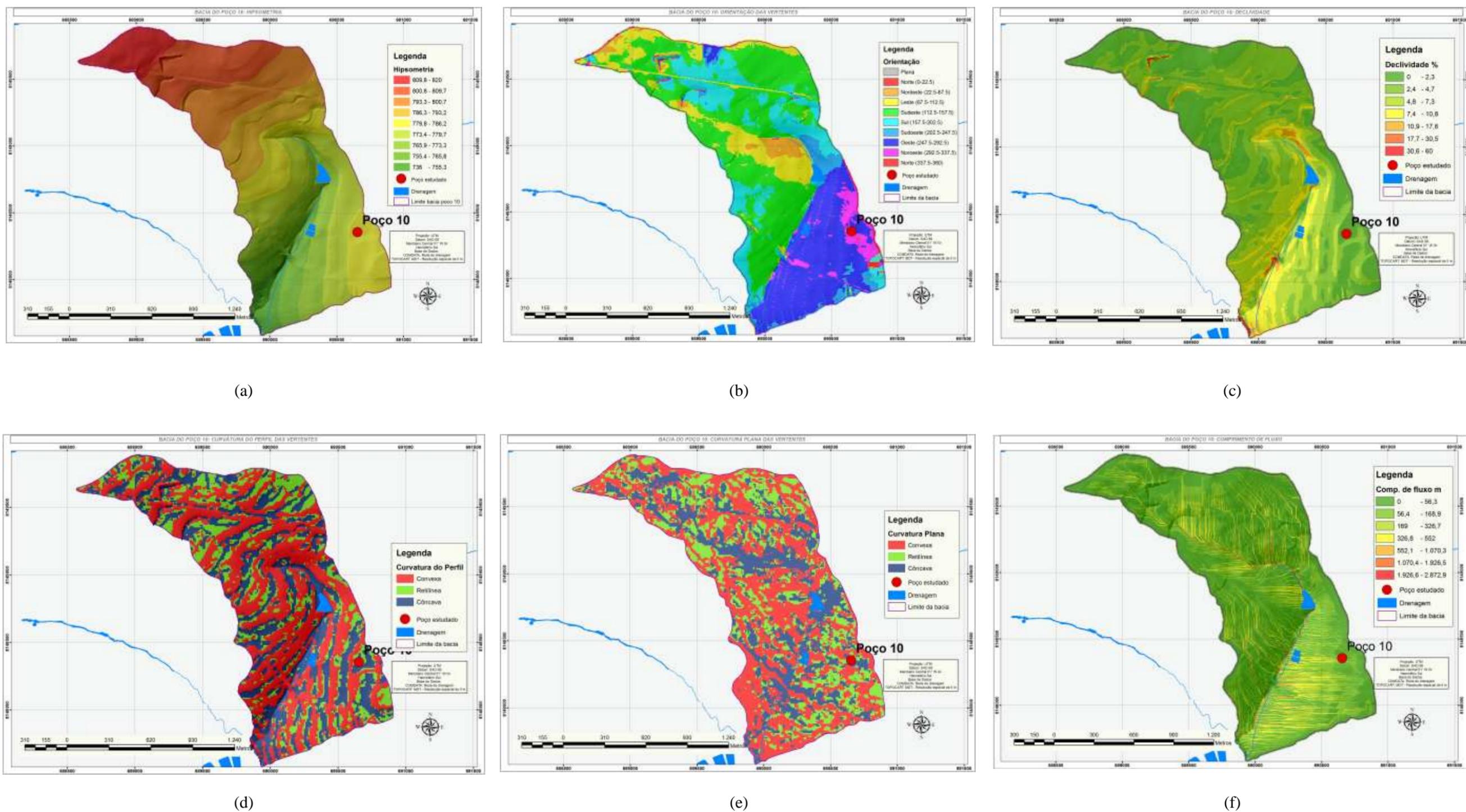


Figura 5.38 – Modelos representativos da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10: (a) hipsométrico; (b) orientações das vertentes; (c) declividades; (d) curvaturas do perfil; (e) curvaturas planas e (f) comprimentos de fluxo.

Tabela 5.55 – Orientação das vertentes da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO.

Orientação das vertentes	Área (ha)	Área relativa (%)
Norte – 337,5 – 22,5	1,20	0,54
Nordeste – 22,5 – 67,5	6,92	3,11
Leste – 67,5 – 112,5	26,75	12,04
Sudeste – 112,5 – 157,5	80,50	36,22
Sul – 157,5 – 202,5	37,63	16,22
Sudoeste – 202,5 – 247,5	9,74	4,38
Oeste – 247,5 – 292,5	50,81	22,86
Noroeste – 292,5 – 337,5	8,73	3,93
Área Total	222,28	100,00

O modelo de declividades indica, para a bacia do Poço 10, variações entre 0 e 60%. Conforme Tabela 5.56, 89,21% da área apresentam declividade inferior a 7,3%. Na Figura 5.38 (c), podem ser constatadas declividades mais acentuadas desde a cabeceira do córrego drenagem até a jusante. O modelo sugere, para o Poço 10, declividades entre 0 e 2,3 e, especificamente no ponto onde foi executado, aproximadamente 0,7%, do que é possível inferir que, nesse entorno, há a tendência ao aumento da infiltração em detrimento do escoamento.

Tabela 5.56 – Declividades da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO.

Declividade (%)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 - 2,3	67,07	30,18
2,4 – 4,7	86,05	38,71
4,8 – 7,3	45,17	20,32
7,4 – 10,8	19,91	8,96
10,9 – 17,6	3,28	1,48
17,7 – 30,5	0,55	0,25
30,6 – 60,0	0,24	0,11
Área total	222,28	100,00

Quanto à curvatura do terreno, o modelo dá indícios do predomínio da curvatura convexa tanto ao longo da linha de maior inclinação na vertente (curvatura do perfil), quanto ao longo das curvas de nível (curvatura plana), de acordo com os dados da Tabela 5.57. O modelo, ao

longo da linha de maior inclinação, aponta o predomínio da curvatura côncava ao longo do canal de drenagem, como pode ser visto na Figura 5.38 (d). Já ao longo das curvas de nível (curvatura plana), destaca-se a curvatura côncava desde a cabeceira de drenagem até o interflúvio, como apresentado na Figura 5.38 (e). O modelo indica, para o entorno do Poço 10, que a curvatura é côncava tanto ao longo da linha de maior inclinação, quanto ao longo das curvas de nível. Esse aspecto indica concentração do fluxo e desaceleração do escoamento da água superficial.

Tabela 5.57 – Curvaturas ao longo dos perfis e das curvas de nível da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO.

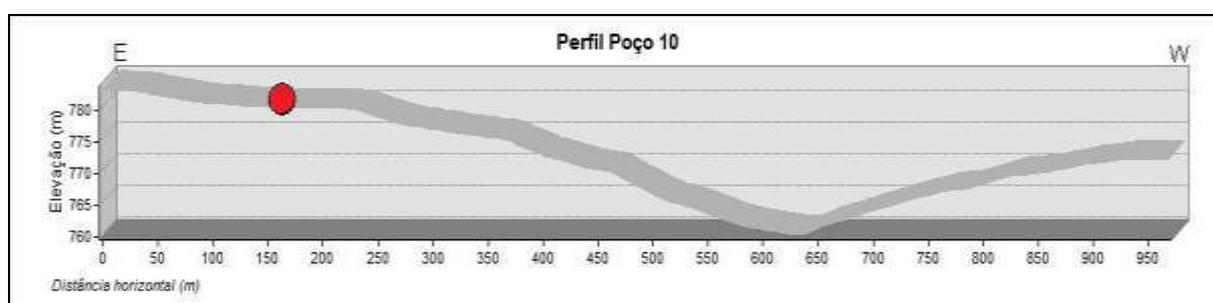
Curvatura do perfil	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	107,40	48,32
Retilínea	46,98	21,11
Côncava	67,90	30,55
Área total	222,28	100,00
Curvatura plana	Área (ha)	Área relativa (%)
Convexa	103,80	46,70
Retilínea	58,53	26,33
Côncava	59,94	26,97
Área total	222,28	100,00

A área da bacia apresenta comprimento de fluxo de maior expressão entre 0-56,3 m, para 57,48% da área, de acordo com a Tabela 5.58 e Figura 5.38 (f). Esse aspecto permite afirmar que, para essa bacia, o comprimento do fluxo é curto, como consequência da variação da declividade. O Poço 10 está inserido no comprimento de fluxo variando entre 169 e 326,7 m, do que é possível ressaltar maiores comprimentos percorridos pela água de escoamento superficial ao longo da vertente.

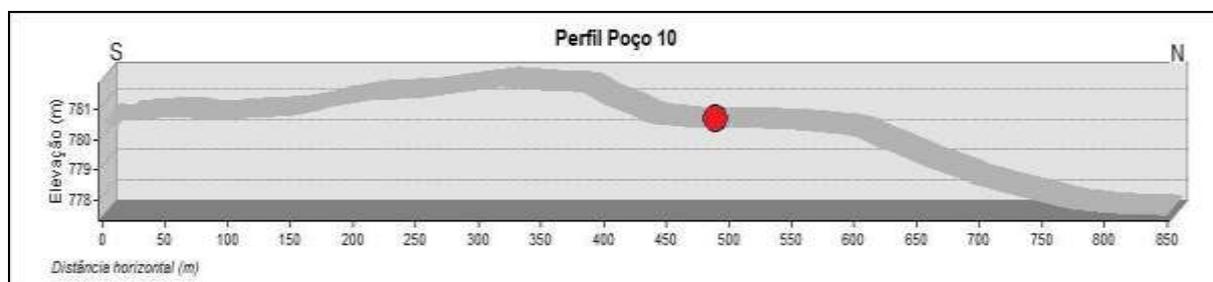
A Figura 5.39 (a) e (b) retrata os perfis representativos da vertente nas direções E-W e S-N onde o poço está inserido. A partir deles, pode ser observado que, na vertente ao longo da direção E-W, principalmente na margem esquerda, há presença de curvatura convexa intercalada à côncava e retilínea e, na margem direita, curvatura convexa ao longo de vertente mais curta. Na direção S-N, pode ser constatada a variação de desnível ao longo da vertente e, em ambas, as curvaturas são bem expressivas.

Tabela 5.58 – Comprimentos de fluxo da área da bacia hidrográfica onde se encontra situado o Poço 10 no Município de Goiânia-GO.

Comprimento de fluxo (m)	Área (ha)	Área relativa (%)
0 – 56,3	127,75	57,48
56,4 – 168,9	52,36	23,56
169,0 – 326,7	25,73	11,58
326,8 – 552,0	11,96	5,38
552,1 – 1070,3	3,50	1,57
1070,4 – 1926,5	0,59	0,27
1926,6 – 2872,9	0,37	0,17
Área total	222,28	100,00



(a)



(b)

Figura 5.39 – Perfis topográficos representativos da vertente passando pelo Poço 10: (a) direção leste-oeste e (b) direção sul-norte.

A posição do Poço 10 na vertente indica que a tendência do fluxo da água de escoamento superficial é percorrer caminhos longos (169 a 326,7 m). Portanto, pode haver concentração de fluxo no entorno do poço com depósito de material inconsolidado, em virtude da possível desaceleração do fluxo em longos comprimentos de fluxo na curvatura côncava, tanto no perfil quanto no plano.

6 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Este capítulo apresenta os resultados dos ensaios realizados em laboratório e em campo para obtenção das propriedades geotécnicas e características químico-mineralógicas dos perfis de solo estudados, de forma a avaliar as possíveis relações entre as formas da paisagem, expressas pela curvatura do terreno, orientação das vertentes, declividades, comprimento de fluxo e cobertura do solo e propriedades. O estudo foi realizado até 3 m de profundidade, pois de um modo geral a zona ativa de interação com a atmosfera se limita regionalmente a essa cota, exceto para o poço 1, que atingiu 4 m. A apresentação e a discussão dos resultados serão feitas contemplando a divisão do Município de Goiânia entre porção Norte e porção Sul. É importante considerar que essa divisão obedeceu unicamente à influência da litologia predominante na região, uma vez que a região Norte é dominada por rochas granulíticas, e a região Sul, por rochas xistosas e quartzíticas.

6.1 - ANÁLISE QUÍMICA DO PERFIL DE SOLO

Os solos resultam de processos físicos e químicos atuantes em escala geológica, sob influência de longos e alternados processos sobre a litosfera como resposta da interação com a atmosfera. Essa interação reflete na paisagem fisiográfica e ecológica de determinado local e, conseqüentemente, na variação físico-química e mineralógica do solo. Nos estudos ambientais, a análise química dos solos permite avaliar o nível de intemperismo, o qual está diretamente relacionado à estrutura física e composição mineralógica dos solos tropicais.

A análise química realizada neste estudo é uma indicação qualitativa, a qual é válida para o direcionamento do entendimento do nível de intemperismo dos perfis estudados. Os resultados serão apresentados distintamente para a região norte, Poços 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e sul, Poços 7, 7.1, 8, 9 e 10, mas as análises serão feitas simultaneamente para as duas regiões logo na apresentação dos dados. Foram analisados os resultados do pH em água, em KCl e, a partir da diferença desses, do ΔpH ; teor de matéria orgânica (MO), capacidade de troca catiônica (CTC) e teor de alumínio (Al). Os resultados das análises químicas indicam que as características dos perfis estudados estão em conformidade com o tipo de solo da região de Goiânia, ou seja, são solos ácidos, com baixo valor de alumínio (Al), indicando alta lixiviação.

Para Cardoso (2002), o pH do solo influencia fortemente a agregação das partículas e, conseqüentemente, o arranjo estrutural entre os vazios e as partículas sólidas do solo. O pH do solo afeta a solubilidade de vários elementos, como, por exemplo, o cálcio e o magnésio. De acordo com Costa (1973), o alumínio também é afetado pelo pH. A carga elétrica das partículas varia com o pH, o que influencia os fenômenos de adsorção, troca catiônica, dispersão e floculação. Bigarella et al. (1996) consideram, em função do pH do solo, que solos ácidos são aqueles que indicam $\text{pH} < 5,5$; moderadamente ácidos com $5,5 < \text{pH} < 6,4$; praticamente neutros com $6,5 < \text{pH} < 6,9$, neutros com $\text{pH} = 7$ e alcalinos com $\text{pH} > 7$.

De acordo com a proposta de Bigarella et al. (1996), para os perfis estudados os valores encontrados de pH apontam solos essencialmente ácidos e moderadamente ácidos, conforme observado a partir das Figuras 6.1 (a) e (b) e 6.2 (a) e (b). Os valores encontrados nos perfis estudados indicam pH em água oscilando entre 5 e 6,4 e em KCl entre 4,3 e 6,4. Os valores de pH obtidos tanto em KCl quanto em água indicam tendência ao aumento das camadas inferiores para as superiores. A partir da diferença entre os valores de pH em KCl e em água, obteve-se o índice de ΔpH , conforme apresentado na Figura 6.3 (a) e (b). Como pode ser observado, tanto os solos dos perfis situados na região norte quanto na região sul apresentaram valores negativos de ΔpH , principalmente para os perfis situados na região sul de Goiânia.

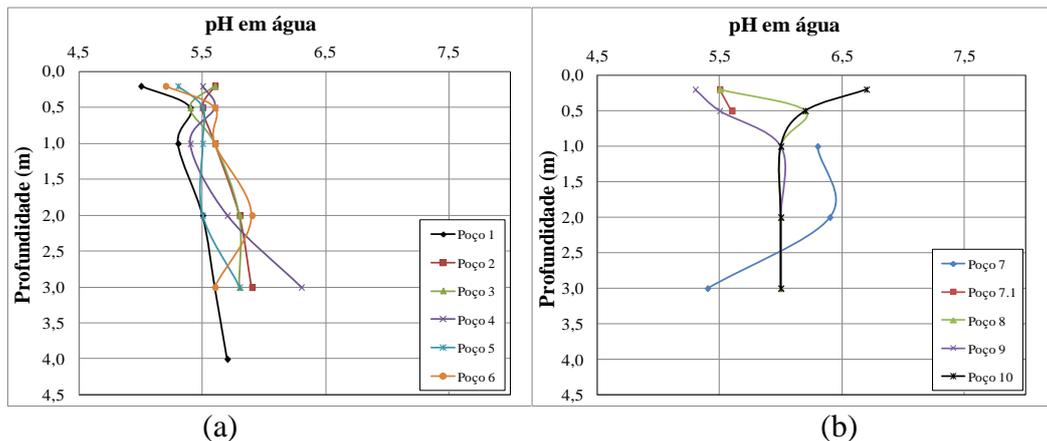


Figura 6.1 – Variação em profundidade do pH em água: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO.

Segundo Cardoso (2002), os valores negativos de ΔpH indicam o predomínio de argilas silicatadas, enquanto os valores positivos indicam o predomínio dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al sobre os minerais de argila. Os valores negativos encontrados em até 2 m de profundidade indicam, para os locais estudados, que as camadas inferiores encontram-se menos intemperizadas, o que caracteriza o predomínio dos argilominerais. A título de

hipótese, os valores negativos de ΔpH até aproximadamente 2 m podem ser devidos à possível deposição de um solo residual a montante. Por outro lado, a partir das profundidades de 2 m, os valores positivos de ΔpH sugerem o predomínio dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, conferindo a esses perfis maior nível de intemperização a partir da profundidade de 2 m. Entretanto, conforme Figura 6.4 (a) e (b), sobre a variação dos teores de alumínio, observa-se que os perfis estudados indicaram baixos valores, com tendência de não ocorrência a partir da profundidade de 1 m, indicativo de solos altamente lixivados.

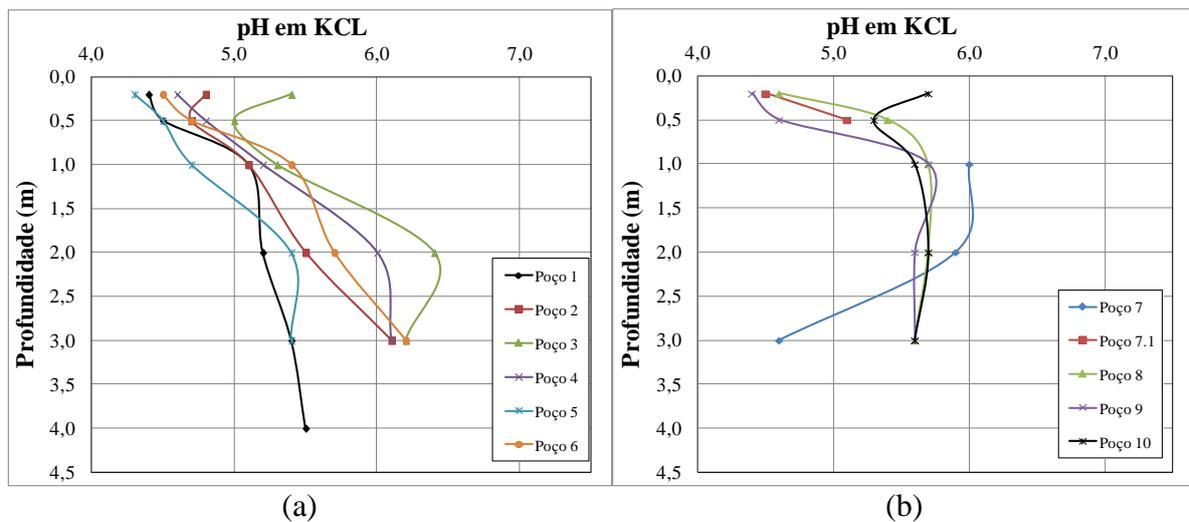


Figura 6.2 – Variação em profundidade do pH em KCL: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO.

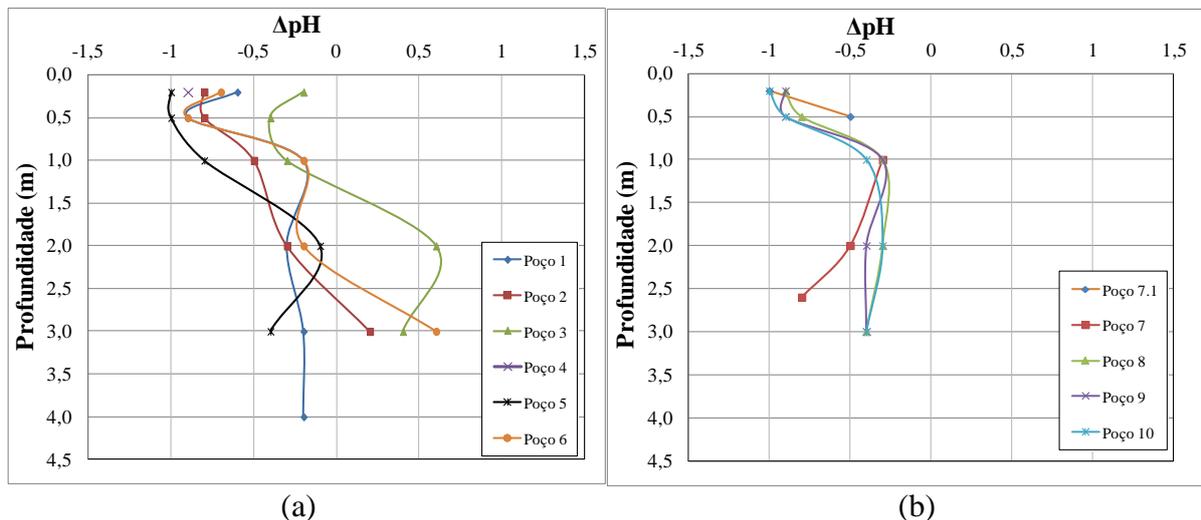


Figura 6.3 – Variação em profundidade do ΔpH : (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO.

Segundo Costa (1973), a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo indica a quantidade total de cátions que um solo, ou mesmo os seus constituintes, pode adsorver e trocar em determinadas condições de pH. Essa capacidade se deve principalmente aos minerais de

argila, aos colóides orgânicos do solo, assim como a outros constituintes do solo, como silicatos e fosfato não cristalinos de ferro e alumínio, óxidos e hidróxidos de Fe e Al.

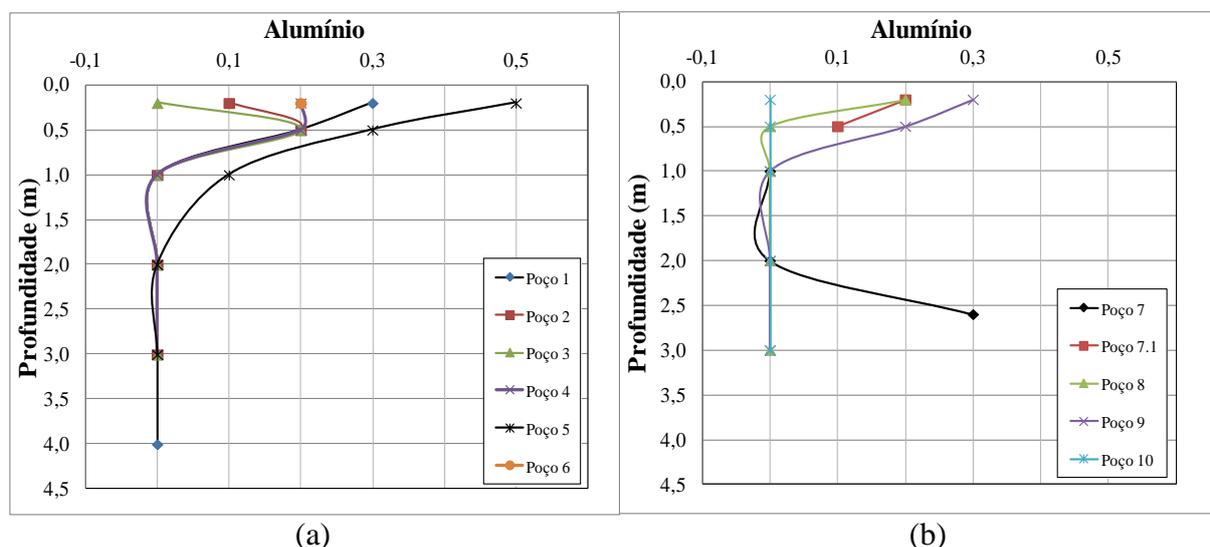


Figura 6.4 – Variação em profundidade do teor de alumínio: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO.

A partir da Figura 6.5 (a) e (b), é possível observar que os valores de CTC tendem a decrescer com a profundidade, e os perfis estudados apresentaram variação entre as regiões norte e sul. Na região sul, os valores da CTC mostraram-se mais elevados para profundidades acima de 1 m. Dentre os perfis analisados da região norte, ressalta-se o comportamento do solo representativo do perfil do Poço 5, cujo material de origem é o granulito, por apresentar valores mais elevados de CTC, indicando predomínio de argilomineral. Esse aspecto é confirmado pelo valor de ΔpH obtido para o respectivo perfil, cujos valores negativos admitem o predomínio dos argilominerais, conforme apresenta a Figura 6.3 (a).

Os valores indicados para a CTC para os poços inseridos na porção norte de Goiânia apresentaram variações entre 1,8 e 7,9 $\text{cmol}_c \text{ kg}$. Os valores mais elevados estão relacionados às profundidades entre 0,2 e 0,5 m, apresentando, em geral, a partir de 1 m significativa diminuição nos valores, exceto para o Poço 5, onde se observa que o decréscimo é mais significativo em 2 m. Para a região sul, os valores obtidos da capacidade de troca catiônica (CTC) apresentaram variações entre 1,8 e 5,6 $\text{cmol}_c \text{ kg}$. Esses valores apresentaram o mesmo comportamento relacionado à região norte, ou seja, os valores mais elevados estão relacionados às profundidades inferiores.

Conforme mencionado anteriormente, os perfis situados tanto na região norte quanto na região sul apresentaram valores negativos de ΔpH , principalmente para os perfis situados na região

sul de Goiânia, conforme pode ser observado a partir da Figura 6.1 (a) e (b). Observam-se, para as profundidades superiores a 1 m, valores mais elevados de CTC confirmando os valores negativos obtidos de ΔpH , pois, conforme aponta Lima (2003), a presença dos argilominerais pode ser indicativo de valores mais elevados de CTC.

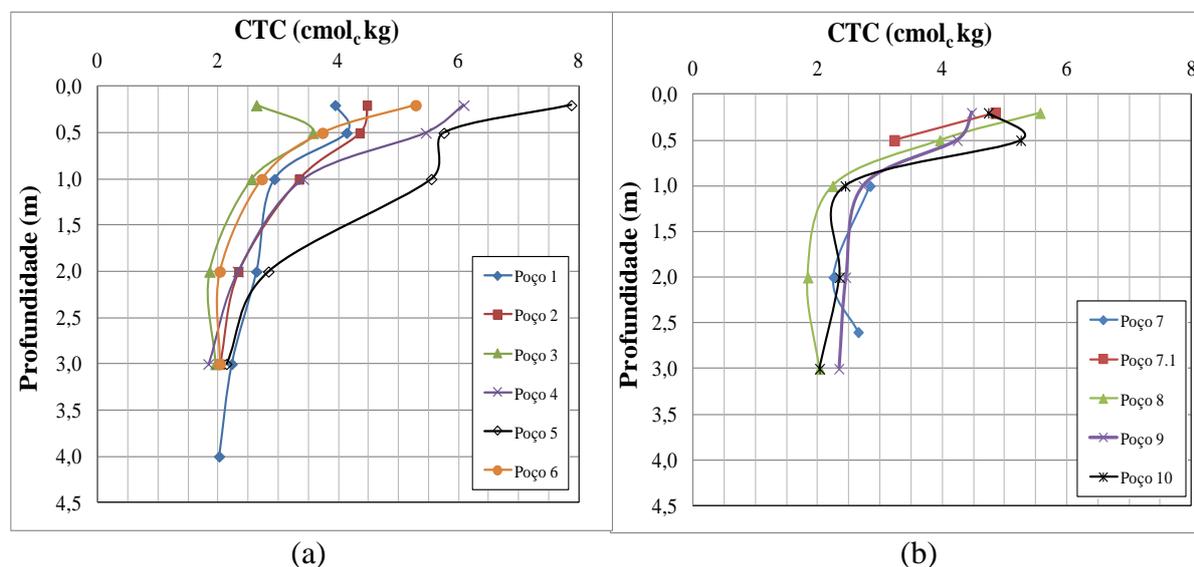


Figura 6.5 – Variação em profundidade da CTC: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO.

Os teores de matéria orgânica (MO) encontrados tanto ao longo da profundidade de cada perfil, como entre os vários perfis analisados, indicam baixos valores, variando entre 0,2 e 2,2%, conforme Figura 6.6 (a) e (b). Segundo Costa (1973), esses valores indicam níveis baixos a muito baixos de matéria orgânica. Observa-se tendência à diminuição gradativa dos valores com a profundidade. Nos perfis da região sul, é possível também observar valores mais elevados de matéria orgânica, quando comparados com os perfis da região norte.

Os valores encontrados de CTC apontam para uma pequena diferença de CTC em profundidades de até 0,5 m quando comparado com as profundidades a partir de 1 m. Essa condição permitiu a correlação entre a CTC e o teor de matéria orgânica (MO), conforme Figura 6.7 (a) e (b). Essa condição corrobora com o argumento de Lima (2003) de que valores mais elevados de MO pode influenciar as propriedades físicas e químicas do solo. Dentre os fatores que justificam os valores encontrados de matéria orgânica, ressalta-se o desmatamento com a consequente redução da fonte de insumos orgânicos e exposição do solo às intempéries climáticas, que favorecem a rápida degradação da matéria orgânica. Além disso, o aproveitamento agropecuário observado na região estudada permitiu variadas mobilizações superficiais dos compostos orgânicos. Essas formas de uso do solo somadas às características

naturais dos solos tropicais, evoluídos em relevos de baixas declividades que contribuem para solos bem drenados, potencializam a eliminação da matéria orgânica e favorecem os baixos teores encontrados nos solos estudados.

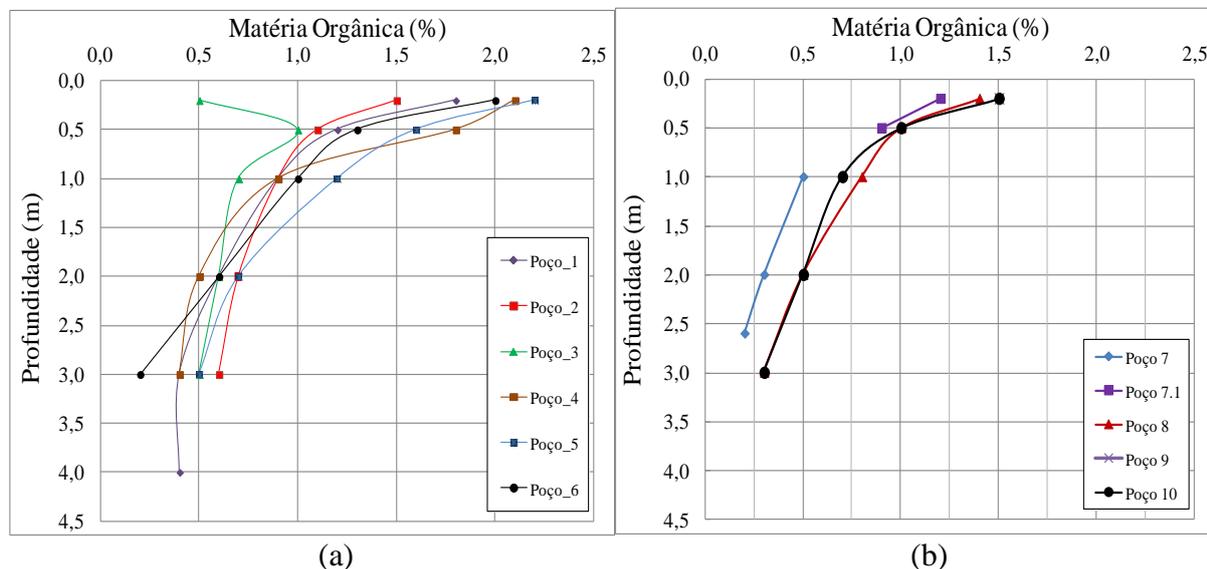


Figura 6.6 – Variação em profundidade e entre perfis de MO: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO.

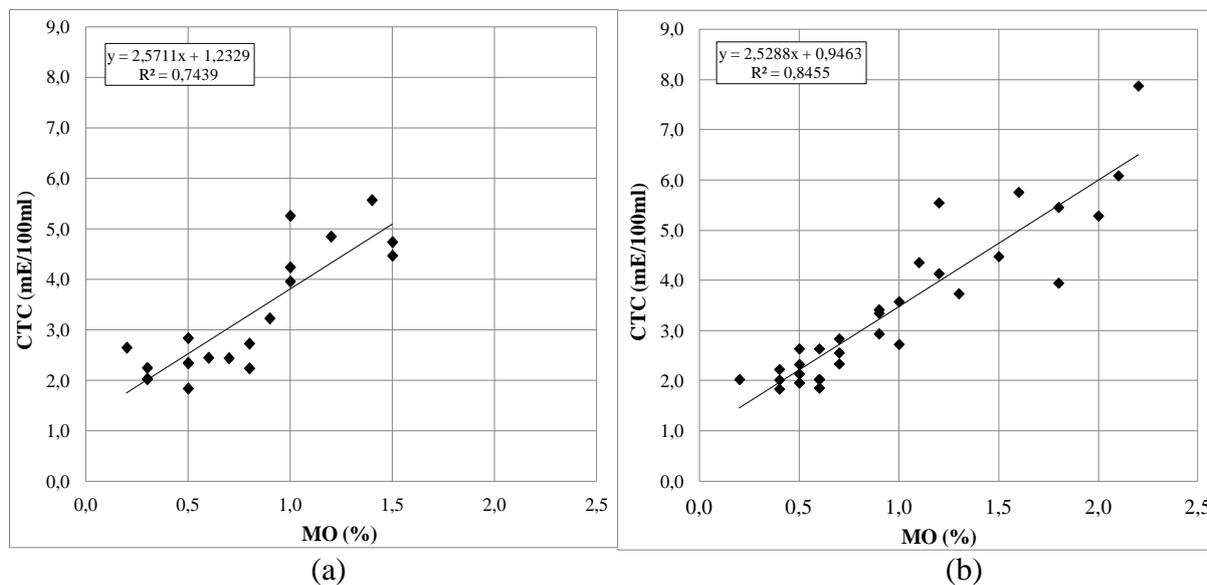


Figura 6.7 – Relação matéria orgânica versus capacidade de troca catiônica: (a) região norte e (b) região sul em Goiânia-GO.

6.2 - MINERALOGIA DOS SOLOS DOS PERFIS DOS POÇOS ESTUDADOS

Conforme mencionado por González (2009), a análise de difratogramas configura uma análise qualitativa, mas as intensidades dos picos apontam para uma variação proporcional da quantidade dos minerais presentes no solo. A partir do ensaio de difratometria de raios X (DRX), em amostras com fração integral e fração argila, foi possível identificar os

componentes principais (maior quantidade), subordinados (menor quantidade) e traços (quantidade pouco relevante). A seguir é apresentada a análise interpretativa dos difratogramas, separando-se os perfis de solo por região norte e sul de Goiânia.

6.2.1 - PERFIS LOCALIZADOS NA REGIÃO NORTE DE GOIÂNIA

A Tabela 6.1 apresenta resumo interpretativo dos difratogramas quanto aos minerais presentes nos perfis estudados, conforme análise dos difratogramas dos solos situados na região norte de Goiânia. A variação na tonalidade do cinza mais escuro para o mais claro, apresentado na Tabela 6.1, indica, respectivamente, a condição de ocorrência do mineral, como elemento principal, subordinado ou traço. Considerando os perfis representativos dos Poços 1, 2, 3, 4, 5 e 6, constata-se que o mineral gibbsita é o componente principal tanto na fração integral quanto na fração argila, desde a profundidade 1 m até 3 m. No perfil do Poço 1, esse mineral também foi identificado até 4 m de profundidade.

A Figura 6.8 evidencia a intensidade da mineralogia ao longo dos perfis. Observa-se o predomínio da gibbsita seguida da caulinita, da hematita e da goethita. Essa composição mineralógica indica, em geral, para solos tropicais, avançado estágio de alteração intemperica. Esses resultados corroboram os valores de ΔpH obtidos na análise química, já descrita. Para Cardoso (2002), a mineralogia apresentada nos pontos de análise na porção norte de Goiânia é típica de solos que sofreram intenso intemperismo químico, por meio, predominantemente, dos processos de alitização e monossilicização. O processo de alitização pode ser evidenciado a partir da intensidade dos picos da gibbsita, em todas as profundidades, como elemento principal, indicando elevado grau de evolução do perfil e condição de terreno bem drenado.

A presença da caulinita de maneira indiscriminada ao longo do perfil, com predominância maior, em geral, em 3 m e 4 m, possivelmente indica que, acima dessas profundidades, parte da caulinita foi alterada para gibbsita. Também foram registrados, ao longo do perfil, óxidos e hidróxidos de ferro, como hematita, ilmenita, magnetita e goethita, seja como minerais subordinados, seja como traço. Essa condição está relacionada à coloração avermelhada ou amarelada do solo e à agregação das frações finas, principalmente da fração argila, pois esses minerais podem atuar como agente cimentante dessas agregações. A análise tátil-visual com o uso de imã também indicou a presença da magnetita, óxido de ferro atraído pelo imã. A agregação presente possivelmente também confere a esses solos macro e microporosidade. Esses aspectos serão analisados em itens seguintes.

Tabela 6.1 – Minerais presentes nos perfis estudados na região norte em Goiânia-GO.

ARGILOMINERAL	Fração	Poço 1 Profundidade (m)				Poço 2 Profundidade (m)			Poço 3 Profundidade (m)			Poço 4 Profundidade (m)			Poço 5 Profundidade (m)			Poço 6 Profundidade (m)			
		1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Gibbsita	Integral	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
	Argila	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
Caulinita	Integral	+	+	+	+++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	
	Argila	++	++	++	+++	+++	++	+++	++	++	+++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
Hematita	Integral	++	++	++	++	++	++	++	++	+	+	+	++	++	++	+	+	+	++	+	+
	Argila	++	+	++	++	++	++	++	++	++	+	+	++	++	++	+	+	+	++	+	+
Quartzo	Integral	+	++	+	+	++	++	+	+++	++	--	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Ilmenita	Integral	--	++	+	+	+	+	--	--	+	--	--	+	+	--	--	--	--	--	--	
	Integral	--	+	+	+	+	+	--	--	+	--	--	+	--	--	--	--	--	--	--	
Diásporo	Integral	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+	--	+	+	
	Argila	++	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Goethita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+	+	+	+	
	Argila	+	--	--	--	--	--	--	+	+	+	--	+	+	+	+	+	+	+	+	
Boemita	Integral	--	--	--	--	+	--	--	--	--	--	+	+	+	--	--	--	--	--	--	
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	++	--	--	--	--	--	--	
Magnetita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	+	+	+	--	--	--	--	--	--	--	+	--	
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--	
Ilita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--	--	+	++	++	--	+	+	
Montmorilonita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--	--	+	+	+	+	+	+	
Diopsídio	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Muscovita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+++	++	+++	--	--	
	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Zircão	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	++	--	--	
	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	
Colombita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	

em que: +++ Principal; ++ Subordinado; + Traço; -- Ausente.

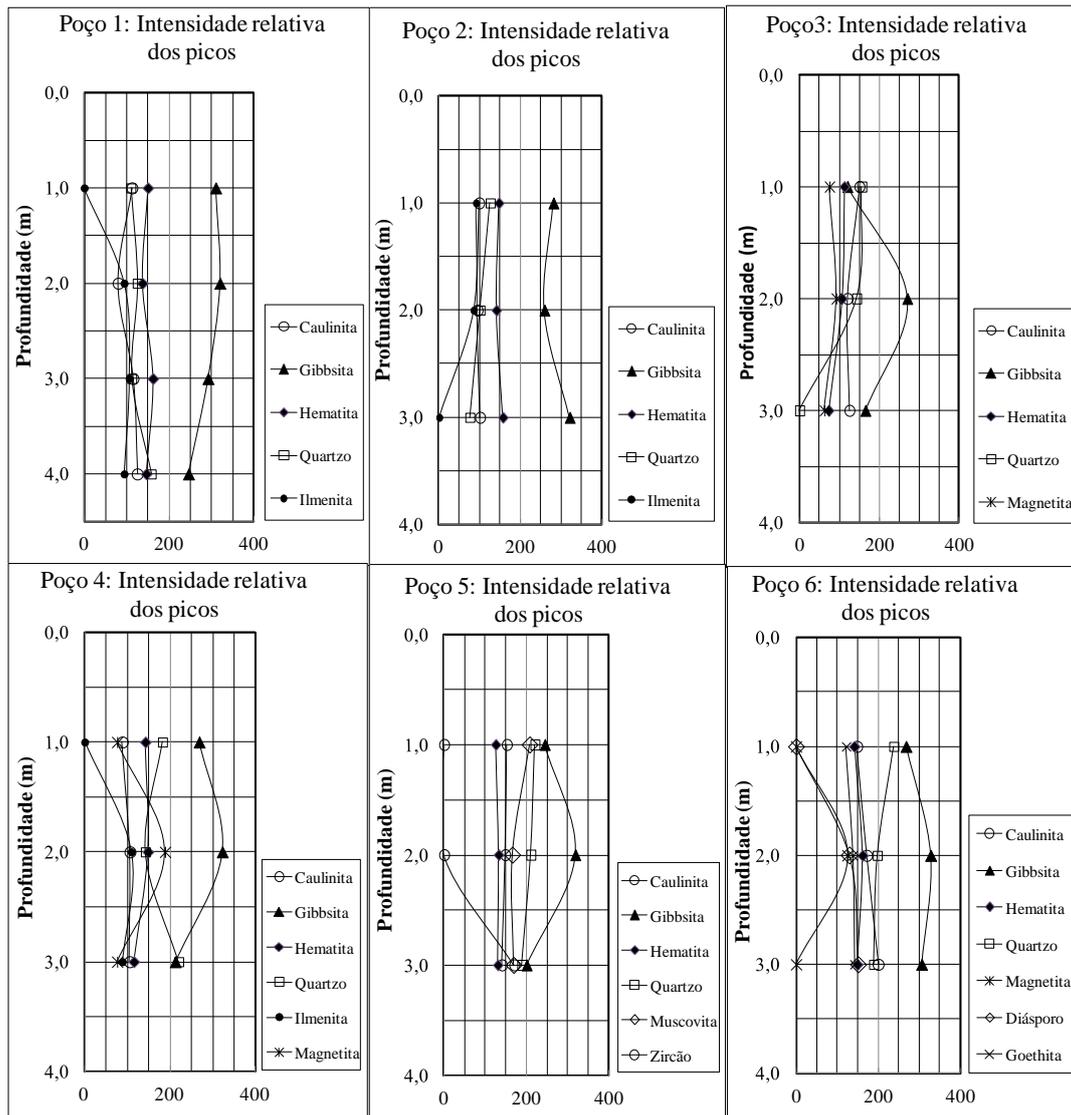


Figura 6.8 – Intensidade relativa dos picos na amostra fração integral conforme profundidade nos perfil dos Poços 1, 2, 3, 4, 5 e 6 situados na região norte de Goiânia-GO.

O mineral quartzo, como era de se esperar, não aparece na fração argila e, na fração integral, aparece como mineral principal em todas as profundidades do poço 5, no primeiro metro dos Poços 3 e 6 e a 3 m no Poço 4. Nas demais profundidades dos perfis analisados para a região norte, o quartzo aparece como subordinado e como traço. No caso do poço 5, o substrato rochoso granulítico bandado explica a existência dessa expressiva intensidade do pico relativo ao quartzo para todas as profundidades.

Alguns minerais também ocorrem apenas como traço. Dentre eles destacam-se: diásporo, diopsídio, boemita, zircão e colombita. Segundo Cardoso (2002), a boemita, hidróxido de alumínio, pode ocorrer em condições climáticas semi-áridas a áridas. Outros minerais, como a illita e a montmorilonita, embora apresentem pouca representatividade nos perfis em que

foram identificados (Poços 3, 5 e 6), merecem atenção especial por revelarem o grau de evolução intempérica do perfil, além de implicarem em comportamento geotécnico peculiar associado à expansibilidade. A muscovita é um mineral primário que merece destaque por ocorrer como mineral principal na fração integral no poço 5, indicando a ocorrência de um horizonte menos evoluído, condição evidenciada também pela presença de minerais 2:1 como a ilita e a montmorilonita. As análises dos difratogramas também indicaram a hematita com ocorrência mais expressiva do que a goethita. Os picos da hematita mais intensos próximo à superfície podem ser justificados pela sazonalidade, gerando ciclos de umedecimento e ressecamento, conforme afirma Cardoso (2002).

A partir das análises dos difratogramas dos poços considerados, observa-se que os minerais identificados refletem a complexidade litológica que envolve as rochas do Complexo Anápolis-Itaçu, corroborando o que apontam Campos et al. (2003). Os solos pesquisados apresentam perfis típicos de solos tropicais com elevado grau de intemperismo, como pode ser observado a partir da intensidade dos picos mostrados na Figura 6.8. A presença da hematita, da ilmenita, da magnetita e da goethita pode ser explicada pela influência dos granulitos, principalmente dos ortogranulíticos, que contêm minerais primários ricos em ferro. Por outro lado, conforme já exposto anteriormente, a predominância dos granulitos bandados e paraderivados pode ainda justificar a intensidade dos picos de quartzo.

6.2.2 - PERFIS LOCALIZADOS NA REGIÃO SUL DE GOIÂNIA

Na região sul de Goiânia, os minerais presentes no solo são apresentados conforme sua maior expressão nos perfis estudados, segundo análises dos difratogramas. A análise dos difratogramas dos perfis situados na região sul de Goiânia, assim como para a região norte, aponta para elevado grau de intemperismo. Entretanto, os perfis da região sul indicam níveis diferenciado de intemperismo, devido à presença de minerais do tipo 2:1, como ilita e montmorilonita, apesar de se apresentarem na condição de traço. Esse aspecto mostra uma estreita relação com o grau de evolução dos perfis situados na porção sul de Goiânia e com as características litológicas.

Da análise dos difratogramas (Apêndice B), considerando a intensidade dos picos dos minerais presentes nas amostras em fração integral ao longo dos perfis, conforme apresentados na Tabela 6.2 e na Figura 6.9, observam-se características típicas de solos lateríticos, com o predomínio de argilominerais, como a caulinita; óxidos hidratados de

Tabela 6.2 –Minerais presentes nos perfis estudados na região sul em Goiânia-GO.

ARGILOMINERAL	Fração	Poço 7 (m)			Poço 7.1* (m)			Poço 8 Profundidade (m)			Poço 9 Profundidade			Poço 10 Profundidade (m)		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Gibbsita	Integral	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++
	Argila	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Caulinita	Integral	+	++	+++	++	++	++	++	++	++	--	++	+	+	+	++
	Argila	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	++	+++	+++	+++
Hematita	Integral	+	+	+	--	+	+	++	++	++	++	++	++	++	++	+
	Argila	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Quartzo	Integral	+++	+++	+++	++	++	+	+++	+++	+++	--	++	++	+++	+++	+++
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Goethita	Integral	+	+	+	--	--	--	+	+	--	+	+	+	+	+	--
	Argila	+	+	--	--	--	--	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ilita	Integral	--	--	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Argila	+	+	+	--	--	--	--	--	--	+	+	--	+	+	--
Muscovita	Integral	--	+	--	+	--	--	--	--	--	+	++	--	+	--	++
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Montmorilonita	Integral	--	--	+	--	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--
	Argila	--	--	+	--	--	--	--	--	--	+	+	+	+	+	+
Diásporo	Integral	+	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+	--
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+
Ilmenita	Integral	--	--	--	--	+	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Magnetita	Integral	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--	--	--	--	--
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Clorita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+	--	--	--	--	--
Gipsita	Integral	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+	+	--	--	--
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Rutilo	Integral	--	--	--	+	++	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Spnélio	Integral	--	--	--	+	+	+	--	--	--	--	--	--	--	--	+
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Vermiculita	Integral	--	--	--	++	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	+
	Argila	--	--	--	+	+	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Anatásio	Integral	--	--	--	+	++	+	--	--	--	--	--	--	--	--	+
	Argila	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

em que: +++ Principal; ++ Subordinado; + Traço; -- Ausente.

alumínio, como a gibbsita; óxidos de ferro, como a hematita, e óxidos hidratados de ferro, como a goethita. Alguns minerais primários aparecem também na fração integral, como o rutilo e o anatásio.

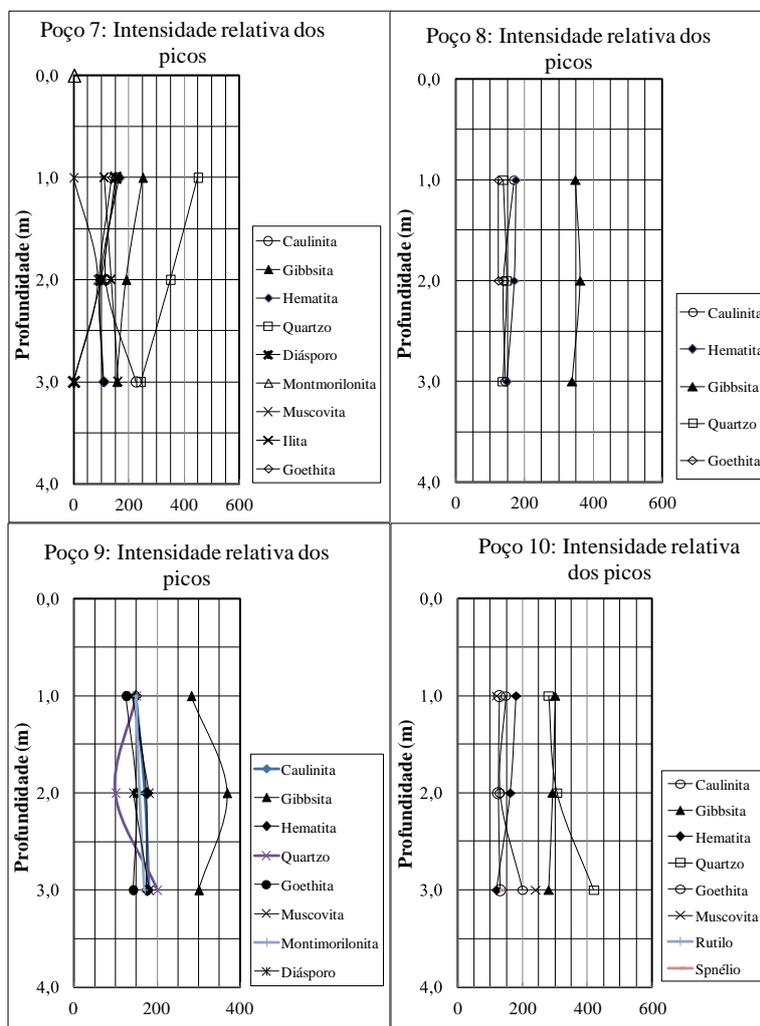


Figura 6.9 – Intensidade relativa dos picos na amostra fração integral conforme profundidade nos perfis dos Poços 7, 7.1, 8, 9 e 10 situados na região sul de Goiânia-GO.

A gibbsita aparece em quantidades expressivas em praticamente todos os perfis estudados desde a profundidade de 1 m até 3 m, ocorrendo como elemento principal tanto na fração integral quanto na fração argila. A caulinita ocorre como principal na fração argila em todas as profundidades (1 m a 3 m) para a maioria dos perfis. Na fração integral, ela aparece na condição subordinada e como traço ao longo de todas as profundidades analisadas em perfil, exceto na profundidade 3 m, no Poço 7, onde ocorre como principal.

Alguns minerais que contêm ferro em sua composição química, como goethita, magnetita e ilmenita, aparecem predominantemente como traço em todos os perfis. Outros minerais, como

diásporo, gipsita, rutilo, spinélio e anátasio, ocorrem em alguns perfis na condição subordinada e como traço, como é o caso dos perfis dos solos dos Poços 7.1 e 10. Do mesmo modo, merecem destaque a muscovita, como mineral primário, e os minerais do tipo 2:1, que também aparecem predominantemente como traço ao longo do perfil, sendo eles illita, montmorilonita, clorita e vermiculita. A presença desse mineral primário e de argilominerais do tipo 2:1 indica perfil mais jovem quanto à evolução do intemperismo, se comparado aos perfis em que não foram identificadas essas ocorrências.

Os difratogramas analisados nessa região, assim como aqueles analisados para a região norte, também indicam alto grau de intemperismo dos perfis, revelando a presença predominante dos óxidos e hidróxidos de Al e Fe. Porém, apresenta em maior expressão a presença de materiais primários, como o quartzo, provavelmente por uma influência do substrato rochoso pertencente ao Grupo Araxá Sul de Goiás, cuja litologia é representada por xistos e quartzitos.

Um exemplo dessa condição pode estar apresentado pelo Poço 9, que está situado próximo ao alinhamento dos corpos quartzíticos, conforme geologia do município descrita no Capítulo 5. Entre os perfis analisados nessa porção, o referente ao Poço 8 apresenta-se como de um solo altamente evoluído devido à presença dos componentes óxidos e hidróxidos de Al e Fe, tanto na fração integral como na fração argila.

Na análise dos difratogramas para a região norte e sul de Goiânia, a intensidade dos picos referentes aos óxidos e hidróxidos de Al e Fe confirmam as afirmações de Campos et al. (2003) de que os Latossolos de Goiânia são bastante evoluídos devido às grandes transformações sofridas pelo material de origem, à presença de quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, à ocorrência de argilas com estrutura mineral 1:1 e à presença do quartzo e outros minerais resistentes ao intemperismo. Considerando ambas as regiões, sob influência tanto dos granulitos quanto dos xistos e quartzitos, observa-se, a partir das quantidades expressivas de óxidos e hidróxidos de Al e Fe, estágio avançado de evolução dos solos.

Segundo Cardoso (2002), um aspecto importante é que os solos que apresentam elevados valores de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio possuem propriedades cimentantes, desempenhando papel importante na formação dos agregados. Os óxidos e hidróxidos têm carga positiva na superfície; como a água é polar, há atração entre eles, conferindo também um aumento na plasticidade do solo.

6.3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E CLASSIFICAÇÃO DOS PERFIS DE SOLOS

A presente subseção aborda a caracterização e classificação dos perfis quanto à granulometria, aos limites de consistência, à metodologia MCT, ao peso específico natural, peso específico dos grãos e peso específico seco e ao índice de vazios.

6.3.1 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A Tabela 6.3 apresenta a síntese dos resultados obtidos a partir da análise granulométrica da fração argila, silte, areia média e areia fina, com e sem defloculante, considerando todos os poços nas diferentes profundidades. Ressalta-se que, nesta análise, não foram incluídos os Poços 3 e 7, pois os perfis apresentaram valores expressivos de areia grossa e média. Também não inclui a profundidade de 3 m representativa dos Poços 4, 5, 8, 9 e 10, pois nessas profundidades foram observados valores elevados de pedregulho, areia média e fina, o que influenciariam nas análises realizadas por profundidade. Tais resultados serão apresentados isoladamente.

Consideraram-se os perfis de solos situados na região norte de Goiânia (1, 2, 4, 5 e 6), na profundidade de 1 m. Ao se compararem a quantidade de argila encontrada no ensaio com água e a quantidade apresentada no ensaio com o uso do defloculante, a diferença aritmética dos valores encontrados de argila entre as duas condições de ensaio indica aumento médio de 53,2% da fração argila. O aumento dessa fração indica uma agregação natural das partículas de argila, pois parte dessa agregação foi desfeita com o uso do defloculante. O desvio padrão dos valores encontrados foi de 2,5%, com o uso de água destilada e de 9,5% com o uso de defloculante.

Para a mesma condição de realização do ensaio, a fração silte praticamente não alterou. O aumento médio foi pouco expressivo (da ordem de 1,5%) para as profundidades de 1 m. O desvio padrão foi de 3,2% para o ensaio com água destilada e de 1,5% para o ensaio realizado com defloculante.

Quanto aos valores da fração areia fina, a diferença entre os percentuais indica diminuição nos valores sob ação do defloculante, em aproximadamente 20,2%, com desvio padrão de 3,7% para o ensaio com água destilada e de 1% com uso do defloculante. Para a fração correspondente à areia média, a diferença entre os percentuais também diminuiu em 34,5%, quando comparados os valores com e sem defloculante, com desvio padrão entre 6% e 7%,

para ambas as condições de ensaio.

Tabela 6.3 – Análise granulométrica com e sem defloculante: poços situados na região norte de Goiânia-GO.

1 m							1 m						
SD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	CD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
	1	1,8	45,0	20,9	12,8	19,5		1	1,8	3,5	1,0	14,8	78,9
2	1,9	38,5	27,7	14,8	16,9	2	1,9	2,5	1,4	13,7	80,3		
4	5,0	48,1	19,3	11,0	14,8	4	4,9	14,6	2,8	14,8	61,1		
5	4,0	44,9	18,9	12,0	17,2	5	4,0	12,5	2,9	16,7	60,9		
6	1,2	30,9	23,7	19	21,2	6	1,2	2,0	1,5	17,2	74,1		
Média		2,8	41,5	22,1	13,9	17,9	Média		2,8	7,0	1,9	15,4	71,1
Des.Pad.		1,6	6,9	3,7	3,2	2,5	Des.Pad.		1,6	6,0	0,9	1,5	9,5
2 m							2 m						
SD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	CD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
	1	2,1	40,6	22,8	14,7	19,7		1	2,1	7,4	7,1	19,0	64,3
2	2,3	30,5	25,9	18,5	22,6	2	2,3	3,7	5,1	22,9	65,8		
4	3,4	31,9	20,8	17,3	25	4	3,4	13,6	10,5	17,7	53,2		
5	3,7	35,4	22,2	22,2	18,8	5	3,8	11	7,9	7,9	52,2		
6	1,1	38	19,5	18,5	22,3	6	1,1	8,0	5,8	20,8	63,7		
Média		2,5	35,3	22,2	18,2	21,7	Média		2,5	8,7	7,3	17,7	59,8
Des.Pad.		1,0	4,2	2,4	2,7	2,5	Des.Pad.		1,1	3,8	2,1	5,8	6,6
3 m							3 m						
SD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	CD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
	1	1,6	29,3	26,1	19,3	23,6		1	1,6	5,1	4,2	19,4	69,6
2	2,8	25,9	19,5	22,7	28,8	2	2,8	4,5	4,7	18,3	69,4		
6	1,5	24,9	21,1	24	27,2	6	1,5	2,5	4,0	22,8	67,9		
Média		2,0	26,7	22,2	22,0	26,5	Média		2,0	4,0	4,3	20,2	69,0
Des.Pad.		0,7	2,3	3,4	2,4	2,7	Des.Pad.		0,7	1,4	0,4	2,3	0,9

Na profundidade de 2 m, a análise indicou para a fração argila um aumento médio de 38,1%, com desvio padrão 2,5% para o ensaio realizado com água destilada e de 6,6% com o uso de defloculante. Quanto à fração silte, de igual modo à análise anterior, praticamente não houve variação nos valores médios, apresentando uma redução de 0,6%, sob ação do defloculante, com desvio padrão de 2,7% para o ensaio realizado com água e de 5,8% com defloculante.

As diferenças nos percentuais de areia média e fina indicam diminuição de ambas, sob a ação do defloculante, em 26,5% para a fração areia média e de 15% para a fração areia fina. O desvio padrão foi de 4,2% e 3,8% para a areia média e de 2,4% e 2,1% para a areia fina, quando submetida à ação da água e do defloculante, respectivamente. Na profundidade de 3 m, a análise contemplou apenas os Poços 1, 2 e 6, conforme pode ser observado na Tabela 6.3, porque os Poços 4 e 5 indicaram variações na fração argila e na fração areia média bastante expressivas, que influenciariam nas médias dos valores encontrados para os poços situados na região norte de Goiânia. Desse modo, ao se considerar a variação granulométrica dos perfis 1, 2 e 6, a fração argila aumentou em torno de 42,5% sob a ação do defloculante,

com desvio padrão de 2,7% para o ensaio realizado com água destilada e de 0,9% com o uso do defloculante. Quanto ao silte, observa-se novamente pequena diminuição nos valores quando sob ação do defloculante, redução de 1,8% e desvio padrão 2,4% e 2,3% para o ensaio realizado com água e com defloculante, respectivamente. A fração areia fina sob a ação do defloculante diminuiu em 17,9%, com desvio padrão de 3,4% para o ensaio realizado com água destilada e de 0,4%, com o uso de defloculante. Para a areia média, houve diminuição de 22,7% sob a ação do defloculante, com desvio padrão de 2,3% no caso do ensaio com água destilada e de 14% com defloculante.

Quanto aos Poços 4 e 5, na profundidade de 3 m observa-se, a partir da Tabela 6.4, que a fração argila aumentou em 14,8% para o Poço 4 e em 17,6% para o Poço 5, sob ação do defloculante. O silte, como nos outros poços e profundidades, apresentou pequena variação, de 1,6 % para o Poço 4 e de 1,8% para o Poço 5, quando submetido à ação do defloculante. A areia fina apresentou diminuição de 6% para o Poço 4 e de 4% para o Poço 5, também sob ação do defloculante. A fração correspondente à areia média apresentou diminuição nos valores na condição com defloculante, em torno de 13,3% e 13,7%, respectivamente para os Poços 4 e 5.

Tabela 6.4 – Análise granulométrica com e sem defloculante dos Poços 4 e 5 na profundidade de 3 m, na região norte de Goiânia-GO.

SD	Poço	3 m						CD	Poço	3 m					
		Pedregulho (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)			Pedregulho (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
		4	16,6	9,1	41,3	9,4	8,6			15,0	4	16,6	6,0	28,0	9,4
5	21,2	9,8	41,2	5,5	9,0	13,3	5	21,2	4,1	27,5	5,5	10,8	30,9		
Média		18,90	9,45	41,25	7,45	8,80	14,15	Média		18,90	5,05	27,75	7,45	10,50	30,35
Des.Pad.		3,3	0,5	0,1	2,8	0,3	1,2	Des.Pad.		3,3	1,3	0,4	2,8	0,4	0,8

Conforme pode ser observado a partir da Tabela 6.5, os poços situados na região sul (8, 9 e 10) apresentaram, na profundidade de 1 m, aumento em torno de 50,3% nos valores médios dos teores de argila com desvio padrão entre os perfis de 4,8% e 1,7% para os ensaios com e sem defloculante, respectivamente. Quanto à fração silte, houve, da mesma forma, acréscimo de 1,9 pontos percentuais sob a ação do defloculante. O desvio padrão apresentou na fração silte valores de 2,5% sob a ação da água destilada e de 0,8% quando submetido ao defloculante. A fração areia fina, sob a ação do defloculante, apresentou decréscimo 24,3%, com desvio padrão de 5,4 % com a utilização de água destilada e de 1% sob a ação do defloculante. Quanto à fração areia média, houve diminuição dos valores médios em

aproximadamente 27,9% sob a ação do defloculante, com desvio padrão entre os perfis de 1,9% e 4,3%, respectivamente, sob o efeito da água destilada e do defloculante.

Tabela 6.5 – Análise granulométrica com e sem defloculante dos Poços 8, 9 e 10 nas profundidades 1 e 2 m: na região sul de Goiânia-GO.

1 m							1 m						
SD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	CD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
	8	2,7	33,3	22,7	16,3	24,7		8	2,7	3,1	3,9	17,4	72,6
9	1,0	30,1	26,3	17,5	24,6	9	1,0	3,6	3,0	18,2	73,7		
10	1,3	33,5	33,3	12,7	16,4	10	1,3	6,4	2,5	16,7	70,3		
Média		1,7	32,3	27,4	15,5	21,9	Média		1,7	4,4	3,1	17,4	72,2
Des.Pad.		0,9	1,9	5,4	2,5	4,8	Des.Pad.		0,7	1,5	0,6	0,8	1,7
2m							2 m						
SD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	CD	Poço	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
	8	2,9	32,6	19,6	19,1	25,5		8	2,9	11,3	7,9	18,5	59,1
9	1,6	27,1	27,1	17,9	25,2	9	1,6	3,5	9,2	20,4	64,2		
10	1,3	39,3	22,6	14,7	18,4	10	1,3	7,9	2,6	16,7	67,8		
Média		1,93	33,00	23,10	17,23	23,03	Média		1,93	7,57	6,57	18,53	63,70
Des.Pad.		0,85	6,11	3,77	2,27	4,02	Des.Pad.		0,85	3,91	3,50	1,85	4,37

Os valores percentuais médios da fração argila na profundidade de 2 m apresentaram aumento de 40,6%, com desvio padrão de 4%, sob a ação tanto da água quanto do defloculante. O silte também apresentou decréscimo nos valores percentuais médios de 1,3% e desvio padrão de 2,2% e 1,8% sob a ação da água destilada e do defloculante, respectivamente. Sob a ação do defloculante, na profundidade de 2 m, a fração areia fina apresentou diminuição nos valores médios percentuais de 16,5% e desvio padrão de 3%, tanto para a condição com água quanto com defloculante. Nessa profundidade, os valores médios da fração areia média indicam decréscimo percentuais de 25,4%, com desvio padrão de 6% e 3 %, respectivamente com e sem defloculante.

Especificamente na profundidade de 3 m, os Poços 8, 9 e 10, inseridos na região sul, foram analisados individualmente por apresentarem presença expressiva de material correspondente à fração pedregulho e areia média, conforme pode ser observado a partir da Tabela 6.6. Observa-se, para essa profundidade, que os valores da fração pedregulho e areia grossa se mantiveram em ambas as metodologias de ensaio. O silte apresentou sutil variação, com acréscimo para o Poço 8 e diminuição para o Poço 10. As maiores variações foram observadas para a fração areia média e fina, que, sob a ação do defloculante, apresentam diminuição significativa dos valores, sendo mais significativa para a fração areia fina. Para essa profundidade, a análise mostrou que, em média, houve acréscimo, para a condição com o uso do defloculante, nos valores da fração argila entre 17% e 28%.

Tabela 6.6 – Análise granulométrica com e sem defloculante dos Poços 8, 9 e 10 na profundidade 3 m: na região sul de Goiânia-GO.

SD	3 m						CD	3 m						
	Poço (%)	Pedregulho (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)		Argila (%)	Poço (%)	Pedregulho (%)	Areia Grossa (%)	Areia Média (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)
	8	1,2	2,7	25,4	21,2	19,6	29,9	8	16,6	2,7	7,9	4,5	18,7	65,0
	9	28,7	3,3	38,4	9,8	8,6	11,2	9	28,7	3,3	23,3	1,1	8,6	35,0
	10	32,0	6,7	36,4	8,0	8,1	8,8	10	32,0	6,7	27,5	0,1	7,6	26,1
	Média	30,4	5,0	37,4	8,9	8,4	10,0	Média	30,4	5,0	25,4	0,6	8,1	30,6
	Des.Pad.	2,3	2,4	1,4	1,3	0,4	1,7	Des.Pad.	2,3	2,4	3,0	0,7	0,7	6,3

Os perfis dos Poços 3, situado na região norte, e 7, situado na região sul, apresentaram comportamento granulométrico diferenciado quando comparado com os demais poços estudados. Conforme pode ser observado na Tabela 6.7, a distribuição da fração pedregulho, areia média e fina não é homogênea ao longo do perfil. Esse fato implica considerar-se a influência do efeito do intemperismo no local, pois ambos os poços apresentam presença de fragmentos de rocha a 2 m de profundidade.

Tabela 6.7 – Análise granulométrica em profundidade com e sem defloculante dos Poços: 3 (região norte) e 7 (região sul) de Goiânia-GO.

SD	Prof. (m)	Poço 3						CD	Prof. (m)	Poço 3					
		Pedregulho	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Argila			Pedregulho	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Argila
	1,0	2,6	3,4	34,1	20,6	15,6	23,7		1,0	2,6	3,4	11,0	1,7	14,4	66,9
	2,0	45,9	1,0	31,5	4,8	7,0	9,8		2,0	45,9	1,0	26,6	1,1	5,0	20,4
	3,0	14,6	4,4	33,1	14,0	14,2	19,7		3,0	14,6	4,4	19,1	1,5	10,9	49,5
SD	Prof. (m)	Poço 7						CD	Prof. (m)	Poço 7					
		Pedregulho	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Argila			Pedregulho	Areia Grossa	Areia média	Areia fina	Silte	Argila
	1,0	74,9	0,9	19,7	2,0	1,1	1,4		1,0	74,9	0,9	18,5	0,2	1,0	4,5
	2,0	55,9	2,3	5,3	4,8	2,6	3,4		2,0	55,9	2,3	25,0	0,6	3,4	12,8
	3,0	13,4	2,5	3,9	18,7	26,8	33,3		3,0	13,4	2,5	3,9	6,4	20,4	53,4

Merece ressaltar ainda o fato de o Poço 7 apresentar, na profundidade de 1 m, valores expressivos de pedregulho. Sobre isso, Casseti (1992) afirma que a região dos Chapadões de Goiânia constitui uma superfície aplainada, sustentada por quartzitos intercalados e xistos e níveis de concrecionamento, o que pode justificar os valores expressivos de pedregulhos a 1 m de profundidade para o referido poço.

De acordo com o apresentado até o momento e conforme as Figuras 6.10 e 6.11, observa-se, a partir das curvas representativas dos ensaios com e sem defloculante, que os solos estudados encontram-se em elevado teor de agregação, o que pode ser também observado a partir da Tabela 6.6. Como descrito anteriormente, os ensaios mostraram que a argila encontra-se agregada principalmente na fração areia média e areia fina.

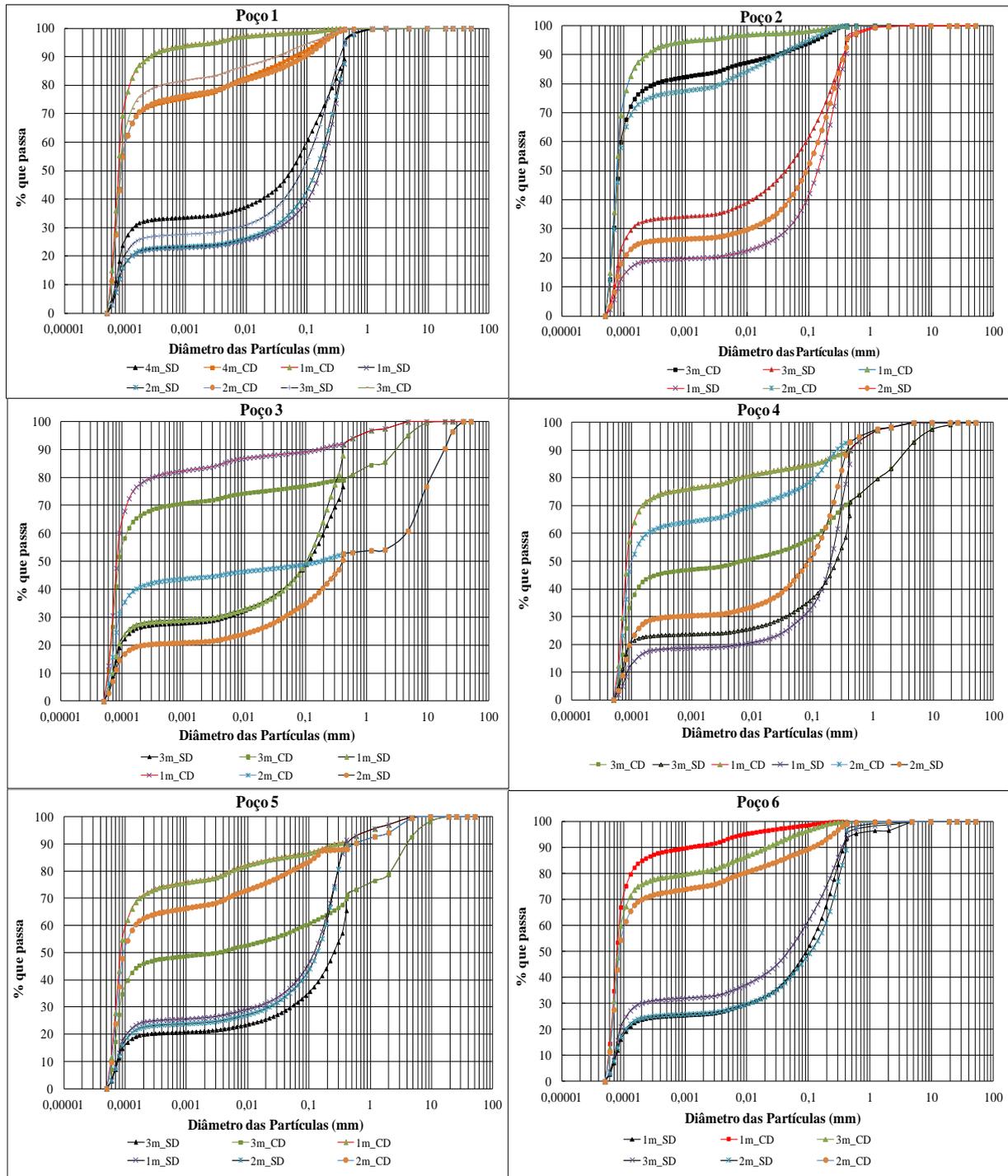


Figura 6. 10 – Curva granulométrica dos solos dos perfis estudados com e sem defloculante, na região norte de Goiânia-GO.

Na região norte de Goiânia, a análise em conjunto dos perfis indicou aumento nos valores médios de argila entre 38% e 53 %, decréscimo nos valores médios dos teores de areia média entre 15% e 34 % e da areia fina entre 18% e 22%, quando submetidos à ação do defloculante. Destaca-se a pequena variação nos valores de silte, entre as duas condições de ensaio. Para os poços situados nessa porção, o desvio padrão nos valores de silte entre os perfis ficou, em

1 m, em torno de 1,5%; em 2 m, 5,8%, e em 3 m, 2,3%.

Já na região sul, essa análise apontou acréscimo nos valores da fração argila em aproximadamente 17% e 50%, diminuição nos valores médios da fração equivalente à areia média entre 13% e 27% e, para a fração areia fina, decréscimo entre 11% e 24%. Nessa região, os valores de silte também não variaram expressivamente, quando comparadas as duas condições de ensaio. O desvio padrão obtido na análise considerando todos os poços permitiu inferir que a variação da fração silte entre eles foi inferior a 2%, exceto na profundidade de 3 m. O fato de a fração silte sem defloculante ser praticamente mantida no ensaio com defloculante aponta para a consideração de que agregação está relacionada à fração areia. Entretanto, é possível que parte ou mesmo o total da fração silte seja desagregada em argila ou até mesmo que a fração areia tenha sido desagregada em argila (em maior proporção) e silte.

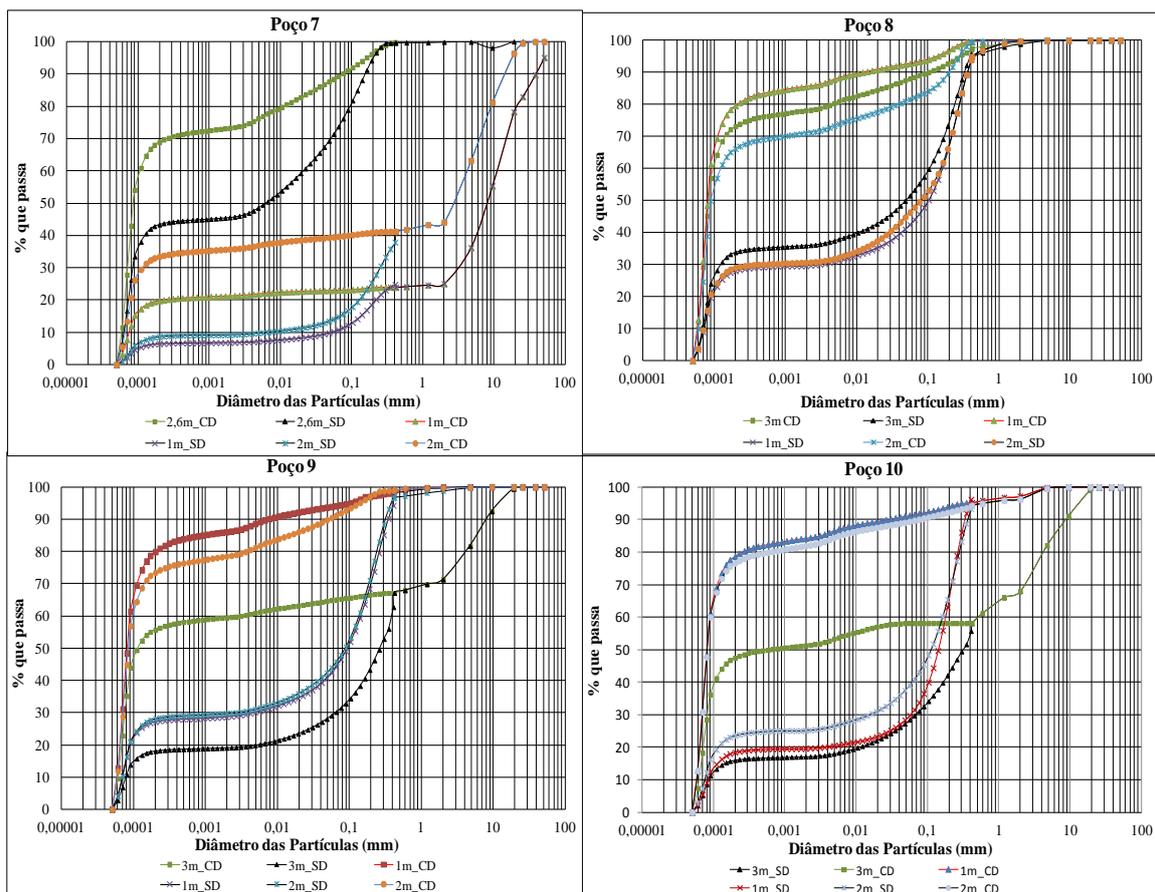


Figura 6. 11 – Curva granulométrica dos solos dos perfis estudados com e sem defloculante, na região sul de Goiânia-GO.

Algumas condições específicas ocorrem, como é o caso do perfil do Poço 3, que apresentou, na profundidade de 2 m, em torno de 45% de pedregulho. Para esse poço, o aumento nos

valores de argila sob a ação do defloculante foi 10,6%, sugerindo que a agregação estaria presente principalmente na areia média.

Quanto ao Poço 7, também se observou, para as profundidades de 1 e 2 m, maior concentração de pedregulho, entre 55% e 75%. Nesse caso, trata-se da ocorrência de níveis de concrecionamento laterítico. Esse perfil, diferentemente dos outros perfis estudados, apresentou um pequeno aumento nos valores do teor de argila em 1 e 2 m. Em 2 m, o valor da fração argila foi de 3,4%, para a condição sem defloculante e de 12,8% para as amostras submetidas à ação do defloculante. Para 3 m, a quantidade de finos apresentou a mesma tendência dos outros poços.

A Tabela 6.8 apresenta os valores do teor de agregação (T.A) dos solos dos perfis estudados com base nos percentuais de argila, obtidos nos ensaios realizados com e sem defloculante. Observa-se que o teor de agregação indica comportamento peculiar para os solos dos perfis dos Poços 2, 8, 9 e 10, apresentando acréscimo pouco expressivo na profundidade de 3 m. Os solos dos perfis 8, 9, e 10 apresentaram os menores valores do teor de agregação para a camada de 1 m, apontando para um menor teor de agregação dos perfis de solos situados na região sul de Goiânia, o que permite inferir a maior fragilidade dos agregados para a profundidade de 1 m.

Tabela 6.8 – Teor de agregação (T.A.%) da argila (em profundidade) para os poços estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

TEOR DE AGREGAÇÃO (%)			
Poço	Profundidade (m)		
	1	2	3
1	73,51	64,54	62,50
2	65,50	60,64	71,90
3	64,57	51,96	60,20
4	68,41	60,90	49,66
5	68,97	57,47	56,96
6	68,02	69,39	68,92
7	68,89	73,44	37,64
8	49,90	66,84	67,38
9	47,40	57,79	72,00
10	37,00	66,67	69,35

De um modo geral, os solos analisados apresentam o teor de areia grossa insignificante, e o aumento do teor de argila com o uso de defloculante é semelhante ao somatório da redução dos teores de areia fina e média quando há o uso do mesmo agente. Nesse sentido, pode-se considerar que as frações argilas encontram-se agregadas no estado natural, compondo fração areia.

Mediante o uso do defloculante, os agregados cujas partículas compõem a fração silte se desagregaram em argila, e aqueles com partículas no tamanho da fração areia desagregaram-se em silte mais argila. Esta observação é de grande relevância, pois a fração argila é agregada na forma de areia e, preservado o teor de silte, tem-se, nos mantos de intemperismo analisados, solos com características bimodais de distribuição de poros, compostos por microporos e macroporos.

Com isso, tem-se, para os mantos de intemperismo, comportamentos quanto à permeabilidade e ao fluxo semelhantes aos das areias, mesmo que a composição mineralógica ou mesmo que a matriz na forma desagregada trate-se de uma argila ou de solos predominantemente argilosos. A realização de ensaios com e sem o uso de defloculante nesses solos é de suma importância, pois, embora apenas os ensaios sem o uso de defloculante já possam indicar a capacidade de fluxo e infiltração desses solos, o comparativo entre os dois fornece outras informações ambientalmente relevantes. Por exemplo, o efeito desagregador das águas servidas e de certos insumos agrícolas pode gerar problemas nesses solos, tais como rupturas de encosta, desencadeamento ou aceleração de processos erosivos, colmatção da macroporosidade e perda da capacidade de infiltração.

6.3.2 - ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PERFIS DE SOLOS

Neste item, são analisados o peso específico natural do solo (γ_n), o peso específico dos sólidos (γ_s), o peso específico seco (γ_d), o índice de vazios (e) e a porosidade dos solos (n). As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados em laboratório nos poços estudados, respectivamente, para as regiões norte e sul de Goiânia.

Conforme comentado anteriormente, o Poço 7.1, executado por Silva (2010), foi incluído nesta pesquisa para substituir o Poço 7 e complementar os dados relativos aos ensaios de campo. Entretanto, este mesmo tipo de consideração não pode ser realizado para o caso das avaliações de laboratório, pois não foram realizadas análises relativas à determinação do peso específico natural do solo e não foi possível a obtenção das propriedades peso específico seco do solo, índice de vazios e porosidade para esse poço.

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 6.9 e 6.10, observa-se que o peso específico natural do solo (γ_n) apresentou valores entre 8,52 e 18,21 kN/m³, mas a maioria dos poços apresentaram valores oscilando entre 13 e 15 kN/m³. Observa-se que as variações encontradas

nos perfis da região norte são mais expressivas que as variações da porção sul, conforme a Figura 6.12 (a) e (b).

Quanto ao peso específico seco (γ_d), a maior parte dos perfis dos solos apresentou, conforme a profundidade, principalmente a partir da camada 1 m, variações entre 11 e 12 kN/m³. Conforme a Figura 6.13 (a) e (b), as variações mais expressivas ocorrem para os perfis dos poços e nas cotas onde foram encontrados fragmentos de rocha, como aqueles observados na profundidade 2 m para os Poços 3 e 7 e 3 m para o Poço 5, assim como maior variação dos valores para os perfis situados na região norte.

Tabela 6.9 – Características geotécnicas dos solos dos perfis estudados: poços situados na região norte de Goiânia-GO.

Poço 1						Poço 02					
Prof. (m)	γ_{mat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	e	n (%)	Prof. (m)	γ_{mat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	e	n (%)
1,0	13,73	10,97	28,25	1,576	61,0	1,0	14,65	11,39	29,54	1,594	61,00
2,0	14,72	11,57	28,68	1,479	60,0	2,0	14,71	11,49	29,71	1,587	61,00
3,0	13,54	10,60	27,51	1,595	61,0	3,0	16,19	12,30	29,93	1,433	59,00
4,0	15,75	12,20	28,92	1,370	58,0	4,0	*	*	*	*	*
Poço 3						Poço 4					
1,0	14,60	11,76	30,27	1,574	61,00	1,0	14,31	11,49	28,63	1,492	60,00
2,0	18,21	15,43	29,75	0,928	48,00	2,0	14,22	11,84	28,74	1,427	59,00
3,0	16,91	13,59	30,49	1,243	55,00	3,0	17,72	14,62	28,62	0,958	49,00
Poço 5						Poço 6					
1,0	14,29	11,60	27,72	1,390	58,00	1,0	13,94	11,25	27,67	1,460	59,00
2,0	14,64	12,11	27,91	1,301	57,00	2,0	13,80	11,24	26,64	1,370	58,00
3,0	10,64	9,09	28,24	2,107	68,00	3,0	16,02	12,37	27,51	1,224	55,00
Poço 7						Poço 7.1					
1,0	14,65	12,08	26,21	1,170	54,00	1,0	*	*	26,72	*	*
2,0	8,52	7,24	27,39	2,785	74,00	2,0	*	*	26,89	*	*
2,6	16,50	12,20	27,78	1,277	56,00	3,0	*	*	27,11	*	*
Poço 8						Poço 9					
1,0	13,54	11,00	27,35	1,487	60,00	1,0	12,78	9,93	27,45	1,768	64,00
2,0	14,03	11,23	28,19	1,511	60,00	2,0	13,37	10,36	27,18	1,623	62,00
3,0	14,63	11,50	28,42	1,472	60,00	3,0	13,78	10,69	27,29	1,553	61,00
Poço 10											
1,0	14,04	11,28	27,53	1,441	59,00	*	*	*	*	*	*
2,0	14,37	11,31	27,85	1,438	59,00	*	*	*	*	*	*
3,0	17,65	14,29	27,43	0,920	48,00	*	*	*	*	*	*

* sem informação

Para a propriedade peso específico dos sólidos (γ_s), os perfis de solos estudados apresentaram variações entre 26,2 e 30,5 kN/m³. Considerando os valores obtidos em cada poço analisado, a variação pode ser considerada significativa, mas ao longo do perfil o peso específico dos grãos é praticamente constante em 50% dos poços estudados. Observa-se, a partir da Figura 6.14 (a) e (b), que o peso específico dos grãos apresenta valores mais expressivos para os poços inseridos na região norte. Esse fato pode ser justificado pela litologia presente. Os

valores indicados para o peso específico dos grãos estão de acordo com as características mineralógicas desses solos, onde a presença predominante de gibbsita ($\gamma_s=24 \text{ kN/m}^3$), caulinita ($\gamma_s=25,5 \text{ kN/m}^3$), quartzo ($26,5 \text{ kN/m}^3$), hematita ($\gamma_s= 49 \text{ kN/m}^3$) e goethita ($\gamma_s=43 \text{ kN/m}^3$) justifica os respectivos valores, tanto entre as profundidades de um mesmo perfil quanto entre os perfis.

Tabela 6.10 – Características geotécnicas dos solos dos perfis estudados: poços situados na região sul de Goiânia-GO.

Prof. (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	e	n (%)	Prof. (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	e	n (%)
1,0	14,65	12,08	26,21	1,170	54,00	1,0	*	*	26,72	*	*
2,0	8,52	7,24	27,39	2,785	74,00	2,0	*	*	26,89	*	*
2,6	16,50	12,20	27,78	1,277	56,00	3,0	*	*	27,11	*	*
Poço 8						Poço 9					
1,0	13,54	11,00	27,35	1,487	60,00	1,0	12,78	9,93	27,45	1,768	64,00
2,0	14,03	11,23	28,19	1,511	60,00	2,0	13,37	10,36	27,18	1,623	62,00
3,0	14,63	11,50	28,42	1,472	60,00	3,0	13,78	10,69	27,29	1,553	61,00
Poço 10											
1,0	14,04	11,28	27,53	1,441	59,00	*	*	*	*	*	*
2,0	14,37	11,31	27,85	1,438	59,00	*	*	*	*	*	*
3,0	17,65	14,29	27,43	0,920	48,00	*	*	*	*	*	*

* sem informação

Os resultados dos ensaios de laboratório apontam para comportamento discrepantes conforme a profundidade para o peso específico aparente seco (γ_d) e o peso específico dos sólidos (γ_s). O comportamento do peso específico aparente seco pode ser justificado pelo fato de que, nas profundidades em que foi observada maior discrepância, coincide com as cotas em que foram encontradas fragmentos de rocha. Esse aspecto permite inferir maior dificuldade de se obter com precisão o peso específico natural e, conseqüentemente, o seco. Quanto ao peso específico dos sólidos, a variação com a profundidade pode ter relação com a litologia, principalmente em relação às variações dos perfis situados na região norte, devido à influência dos ortogranulitos que culmina na maior presença de ferro na região. Esse aspecto foi observado em campo por meio de análise tátil-visual e mencionado por Campos et al. (2003).

Conforme a Figura 6.15 (a) e (b), os perfis apresentam valores de índice de vazios (e), entre 1,370 e 1,768, essas variações ocorrem tanto entre os poços quanto ao longo da profundidade. A porosidade (n) indica as variações, entre os poços e ao longo do perfil de profundidade, entre 50% e 70%. A partir da Figura 6.16 (a) (b), observa-se que tais variações ocorrem principalmente na porção norte de Goiânia, onde se apresenta sutil tendência de diminuição nos valores obtidos para as maiores profundidades (3 m).

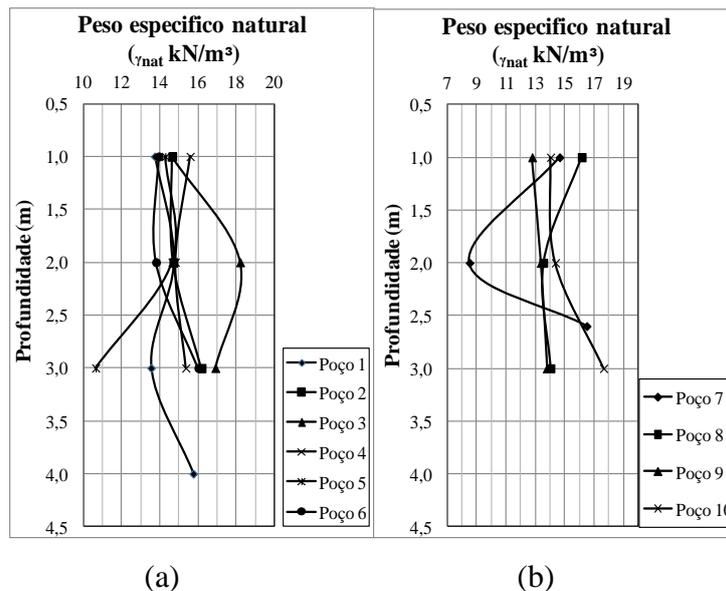


Figura 6.12 – Peso específico natural (γ_n): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

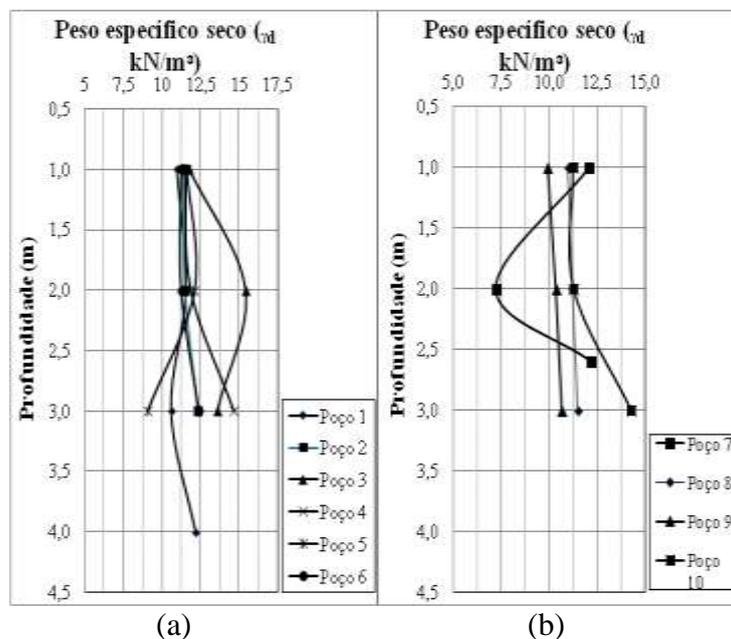


Figura 6.13 – Peso específico seco (γ_d): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

De um modo geral, os índices físicos apresentam expressiva variação ao longo dos perfis, principalmente daqueles situados na região norte de Goiânia. Essa variação pode ser atribuída à influência da litologia da região, que, conforme Campos et al. (2003), apresenta grande diversidade de rochas, dentre elas rochas sedimentares arenosas e argilosas e rochas ígneas de composição básica, ácida e ultramáfica. Ressalta-se, ainda, que entre a região norte e sul de Goiânia o aspecto geológico tende a propiciar melhores condições de infiltração na região sul, por apresentar discontinuidades planares como fraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas (Campos et al., 2003).

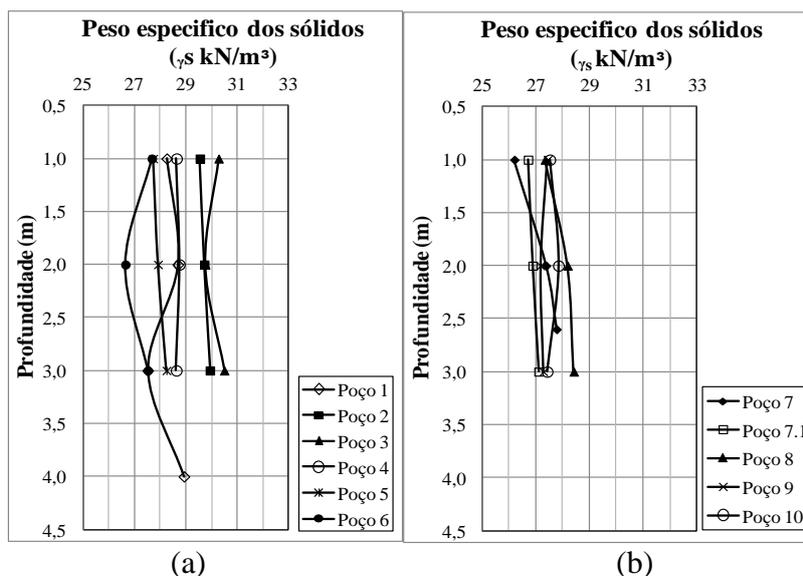


Figura 6.14 – Peso específico dos sólidos (γ_s): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

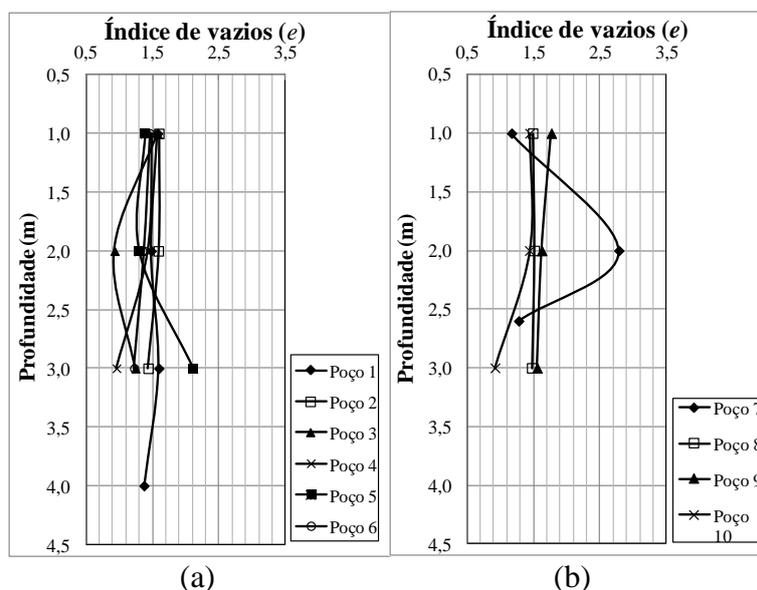


Figura 6.15 – Índice de vazios (e): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

A caracterização das propriedades físicas entre os diferentes perfis e ao longo da profundidade reforça a condição de os solos estudados terem sido submetidos a um alto grau de intemperismo, como indica Cardoso (2002). Os elevados valores apontados, tanto para o índice de vazios quanto para a porosidade até a camada de 3 m, resultam da influência direta do intemperismo químico, assim como de processos de lixiviação, os quais atribuem ao solo condição de elevada porosidade e formação de agregados. Essa condição de alto grau de intemperismo influencia a capacidade de infiltração da água, que depende do grau de saturação e das características atmosféricas na interface solo-atmosfera, o que será discutido no item 6.5.2.

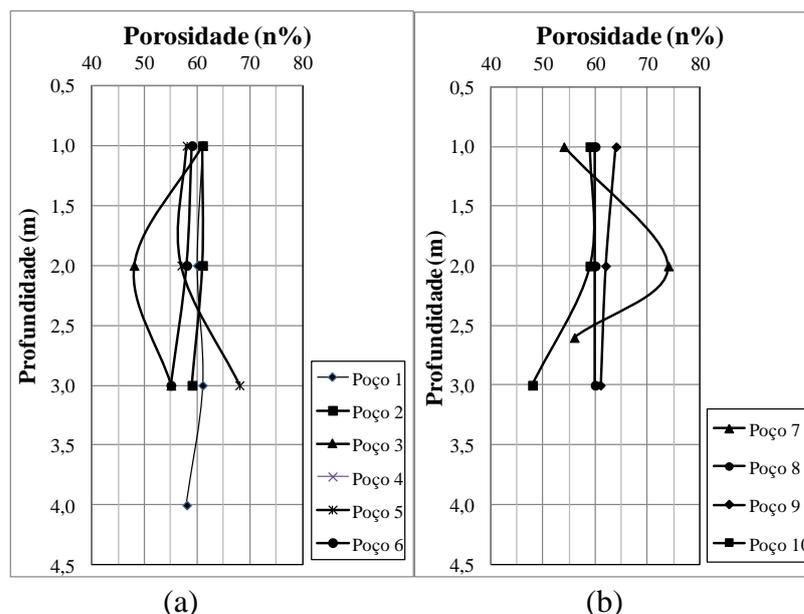


Figura 6.16 – Porosidade (n): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

6.3.3 - LIMITES DE CONSISTÊNCIA E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS (SUCS E MÉTODO DA PASTILHA)

Os valores dos limites de consistências (w_L e w_P) e do índice de plasticidade (IP) são apresentados na Tabela 6.11. As variações nos valores entre os poços e ao longo do perfil de profundidade para o w_L ficaram entre 33% e 50%, para o w_P , entre 20% e 36% e para o IP, entre 8% e 18%. A Figura 6.17 (a), (b) e (c) e a Figura 6.18 (a), (b) e (c) apresentam a variação dos limites de consistência e do índice de plasticidade entre os perfis e ao longo da profundidade, para as regiões norte e sul. Os resultados indicam que os valores apresentam elevação dos limites (w_L e w_P) e do índice (IP) à medida que aumenta a profundidade; mas, na profundidade de 2 m, pode ser observada diminuição desses valores.

Na região sul, é possível observar que os índices de plasticidade (IP) indicam, para os Poços 7 e 8, o aumento nos valores à medida que aumenta a profundidade. Esse aumento é observado principalmente para o perfil do Poço 8, que apresenta, em 3 m, valor de IP igual a 18%, contrastando com os valores obtidos para as profundidades de 1 e 2 m, respectivamente 11% e 12%. O perfil do Poço 9 apresenta o menor valor para o IP na cota de 2 m, que é de 13%; para o Poço 10, os valores decrescem ao longo do perfil de profundidade, conferindo ao solos diminuição da plasticidade.

O comportamento dos índices de consistência indica, para a região norte, aumento da plasticidade na profundidade de 3 m. Esse aspecto vem ao encontro da discussão apresentada

na seção 6.2 quanto às características mineralógicas dos materiais. No Poço 5, por exemplo, o fato de ocorrerem minerais primários, como muscovita e quartzo, parece influenciar os menores valores de plasticidades, em comparação aos outros poços. Por outro lado, o comportamento dos índices de consistência indicados para os locais de estudo na região sul é bem variável, indicando tendência de diminuição em 3 m de profundidade. Esse comportamento permite inferir a influência litológica na diminuição da plasticidade, devido à presença dos corpos quartzíticos nessa região (por exemplo, o Poço 9), ou a veios de quartzo. Outra possibilidade para justificar o comportamento dos perfis situados na região sul, deve-se, em alguns casos, à diminuição do intemperismo com a profundidade.

Tabela 6.11 – Limites de consistência (w_L e w_p), índice de plasticidade (IP) e índice de consistência (IC) dos perfis de solos estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Poço 1						Poço 2						Poço 3					
Prof. (m)	w_L (%)	w_p (%)	IP (%)	IC	SUCS	Prof. (m)	w_L (%)	w_p (%)	IP (%)	IC	SUCS	Prof. (m)	w_L (%)	w_p (%)	IP (%)	IC	SUCS
1,0	39	27	11	1,25	CL	1,0	39	29	11	0,94	CL	1,0	38	26	12	1,29	CL
2,0	37	26	12	0,81	CL	2,0	40	28	12	1,00	CL	2,0	30	22	8	1,50	CL
3,0	40	26	13	0,94	CL	3,0	44	30	13	0,95	CL	3,0	39	27	13	1,12	CL
4,0	43	30	13	1,09	CL	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Poço 4						Poço 5						Poço 6					
1,0	35	26	9	1,11	CL	1,0	36	24	12	1,07	CL	1,0	38	26	12	1,09	CL
2,0	34	25	9	1,43	CL	2,0	35	24	11	1,18	CL	2,0	35	25	10	0,95	CL
3,0	37	27	9	1,66	CL	3,0	35	25	10	1,78	CL	3,0	40	26	13	0,37	CL
Poço 7						Poço 7.1						Poço 8					
1,0	38	26	12	1,39	CL	1,0	33	20	13	*	CL	1,0	40	28	11	1,51	CL
2,0	44	29	14	1,93	CL	2,0	34	21	13	*	CL	2,0	39	27	12	1,10	CL
2,6	50	36	14	1,19	CH	3,0	34	22	12	*	CL	3,0	47	29	18	0,95	CL
Poço 9						Poço 10						Poço 11					
1,0	45	31	14	1,17	CL	1,0	41	27	14	1,15	CL	*	*	*	*	*	*
2,0	42	29	13	1,10	CL	2,0	42	28	13	1,25	CL	*	*	*	*	*	*
3,0	44	29	15	0,98	CL	3,0	34	24	10	1,74	CL	*	*	*	*	*	*

* sem informação

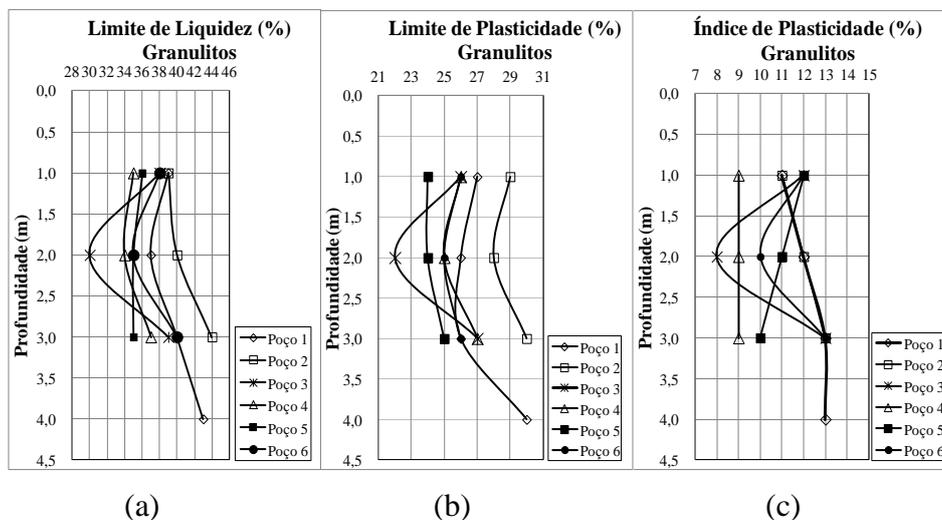


Figura 6.17 – Limites de consistência e índice de plasticidade: (a) w_L ; (b) w_p e (c) IP na região norte de Goiânia-GO.

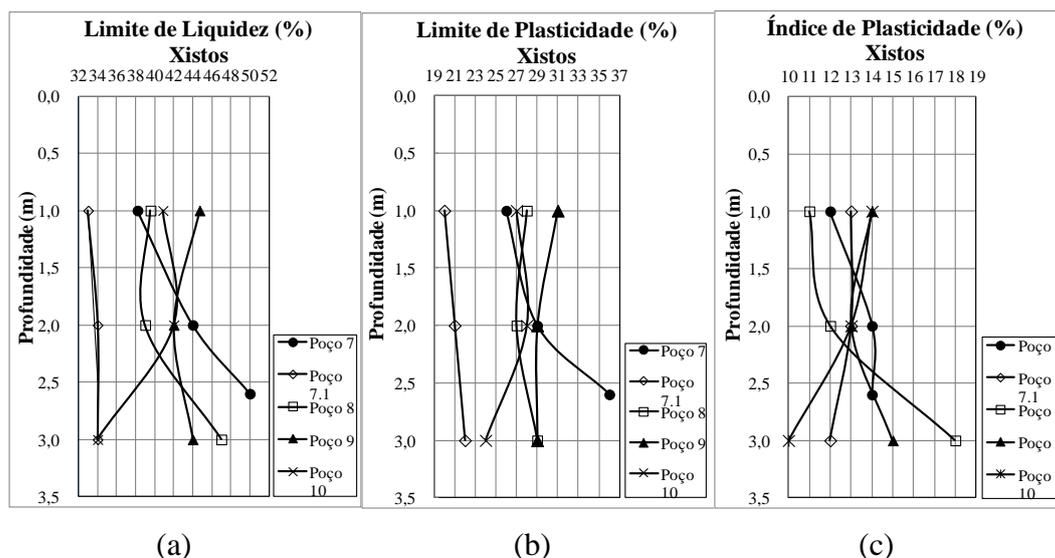


Figura 6.18 – Limites de consistência e índice de plasticidade: (a) w_L ; (b) w_P e (c) IP na região sul de Goiânia-GO.

A partir do limite de liquidez (w_L) e do índice de plasticidade (IP), foi obtida a classificação do solo pelo sistema SUCS, conforme carta de plasticidade (Figura 6.19). Os solos representativos dos perfis foram definidos como silte de baixa plasticidade (ML), exceto para profundidades de 1 m do Poço 2, classificado como argila de baixa plasticidade (CL), e 2,6 m do Poço 7, onde é classificado como silte de alta plasticidade (MH). Observa-se que vários pontos estão abaixo da linha A e alguns muito próximos ou ligeiramente superiores a ela. Isso geralmente se refere ao intemperismo, em que geralmente os solos abaixo da linha A são mais cauliniticos e gibbsíticos e/ou possuem maior teor de agregação. Esse aspecto reafirma a discussão apresentada quanto à caracterização mineralógica, a partir da intensidade dos picos de gibbsita, que, na análise qualitativa, indica a presença predominante desses elementos nos poços estudados.

Quanto ao teor de agregação (T.A.), conforme discutido na subseção 6.3.1, é possível observar a sua relação com o limite de plasticidade, como é o caso que ocorre na região norte, onde situa-se o Poço 3, que tem um aumento no teor de agregação em 2 m, correspondente a um menor valor do limite de plasticidade.

O comportamento do solo expresso pela carta de plasticidade indica solos siltosos, quando, na realidade, são solos mais argilosos. Isso pode ser correlacionado à granulometria do solo em estado natural, ou seja, às frações silte e argila, obtidas sem o uso de defloculante, pois a agregação da argila pode explicar seu comportamento como areia, nos ensaios de limites de consistência.

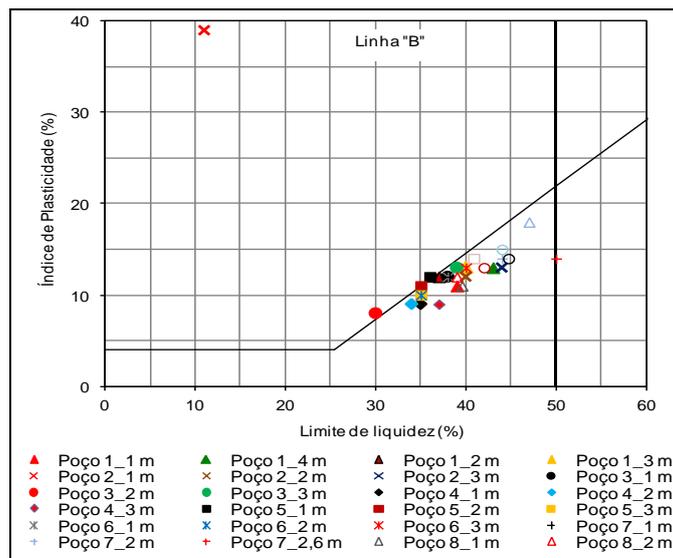


Figura 6.19 – Carta de plasticidade: solos dos perfis estudados em Goiânia-GO.

Também foi realizado ensaio de classificação dos solos segundo proposta de Nogami & Villibor (1994), a partir do método das pastilhas para classificação expedita na metodologia MCT. Conforme pode ser observado na Tabela 12, os solos foram classificados, em sua maioria, como LG', LA' e LA'-LG', o que indica solos argilosos de comportamento laterítico e solos arenosos de comportamento laterítico, exceto para a profundidade 2,60 m do Poço 7, quando indica solos NG', argila não laterítica.

Tabela 6.12 – Classificação MCT expedito (método das pastilhas): perfis de solos estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Classificação MCT expedito (pastilhas)														
Poço 1					Poço 2					Poço 3				
Prof. (m)	ct (mm)	c' (mm)	Penet. (mm)	Classificação	Prof. (m)	ct (mm)	c' (mm)	Penet. (mm)	Classificação	Prof. (m)	ct (mm)	c' (mm)	Penet. (mm)	Classificação
1,0	1,56	1,79	0	LG'	1,0	1,53	1,77	0	LG'	1,0	1,60	1,81	0	LG'
2,0	1,32	1,64	0	LA'-LG'	2,0	1,54	1,78	0	LG'	2,0	1,23	1,58	0,8	LA'-LG'
3,0	0,89	1,29	0	LA'	3,0	1,65	1,83	0	LG'	3,0	1,65	1,83	0	LG'
4,0	1,56	1,78	0	LG'	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Poço 4					Poço 5					Poço 6				
1,0	1,22	1,57	0	LA'-LG'	1,0	1,39	1,68	0	LA'-LG'	1,0	1,35	1,66	0	LA'-LG'
2,0	1,40	1,69	0	LA'-LG'	2,0	2,03	2,02	0	LG'	2,0	1,18	1,55	0	LA'-LG'
3,0	1,14	1,52	0	LA'-LG'	3,0	1,16	1,53	0	LA'-LG'	3,0	1,58	1,79	0	LG'
Poço 7					Poço 7.1					Poço 8				
1,0	1,45	1,72	0	LG'	1,0	1,10	1,48	0	LA'-LG'	1,0	2,29	2,12	0	LG'
2,0	1,74	1,74	0	LG'	2,0	1,23	1,58	0	LG'	2,0	1,40	1,69	0	LA'-LG'
2,6	2,15	2,15	5	NG'	3,0	1,04	1,43	0	LA'-LG'	3,0	1,33	1,64	0	LA'-LG'
Poço 9					Poço 10									
1,0	1,63	1,82	0	LG'	1,0	1,41	1,70	0	LG'	*	*	*	*	*
2,0	1,92	1,97	0	LG'	2,0	1,58	1,80	0	LG'	*	*	*	*	*
3,0	1,5	1,75	0	LG'	3,0	1,08	1,47	1,7	LA'	*	*	*	*	*

* sem informação

A atividade da argila (Ia) é um índice que permite indicar a maior ou a menor influência das

propriedades mineralógicas e químico-coloidal da fração argila, nas propriedades geotécnicas do solo (Vargas,1977). Segundo o método proposto pela EMBRAPA (1999) para obtenção do índice de atividade da argila (Ia), todos os poços estudados, tanto os situados na porção norte quanto aqueles situados na porção sul, indicam argila de atividade baixa, cujos valores apresentam-se variando entre 3 e 9 cmol_c/kg de argila, exceto no primeiro metro do Poço 7, quando foi encontrado o valor de 63,1 cmol_c/kg de argila indicando argila de alta atividade. Na profundidade de 2 m, o valor obtido de Ia no Poço 7, de 17,6 cmol_c/kg de argila, indica que, nessa profundidade, a argila é de atividade baixa.

A Figura 6.20 (a) e (b) apresenta a relação entre a atividade da argila (Ia) e o teor de agregação (%). É possível observar a relação entre elevados teores de agregação e argila de baixa atividade, o que era de se esperar, já que os perfis estudados apresentaram baixa CTC, conforme discutido na seção 6.1. Observa-se que, na porção norte, representada na Figura 6.22 (a), apenas o Poço 5 não apresenta relação entre a atividade da argila e o teor de agregação, ao passo que, na porção sul, todos os poços indicam correlação, exceto para as profundidades onde foram encontrados fragmentos de rocha. O valor obtido para a atividade da argila está em conformidade com os valores apontados para solos com o predomínio da caulinita. Mitchel & Soga (2005) afirmam que, nos solos com predomínio da caulinita, os valores de Ia apresentam-se entre 3 e 15.

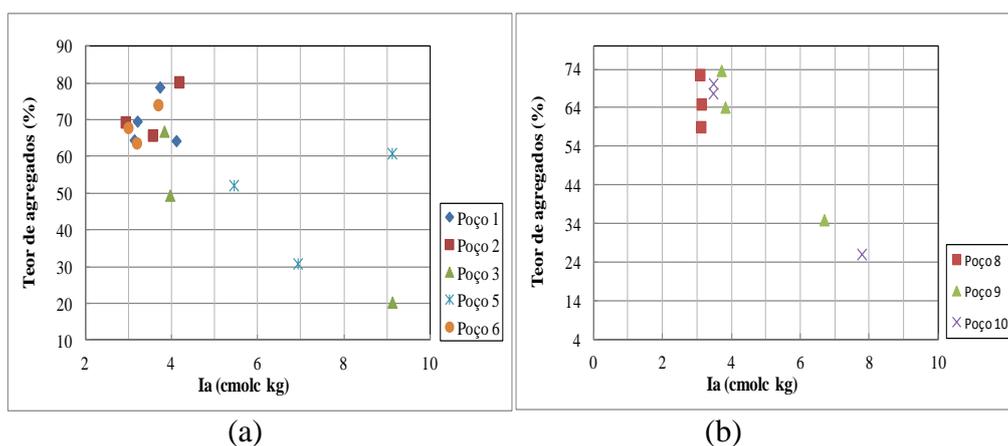


Figura 6.20 – Atividade da argila *versus* teor de agregados: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

6.3.4 - ANÁLISE SAZONAL DA UMIDADE DE CAMPO

A Tabela 6.13 apresenta a variação sazonal da umidade do solo para os poços estudados durante o ano de 2010, considerando os meses de janeiro, abril, julho e agosto-setembro. No Poço 6, devido ao fato de não se conseguir a autorização por parte da empresa responsável

pela área para realizar a coleta de amostras e ensaios *in situ*, não foram realizadas campanhas de campo no mês julho. Esse inconveniente ocorreu por uma falha no sistema de comunicação da administração, o que foi resolvido para a campanha de campo seguinte. Ressalta-se ainda que, para o Poço 7, não foi possível realizar as campanhas de campo, conforme previsto no cronograma. Nesta seção, é avaliada apenas a umidade no mês de janeiro, referente à única atividade de campo realizada nesse local.

Tabela 6.13 – Variação sazonal da umidade (w%) para os perfis de solo estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Poço 1					Poço 2					Poço 3					Poço 4				
Prof. (m)	Jan	Abr	Jul	Ago/Set	Prof. (m)	Jan	Abr	Jul	Ago/Set	Prof. (m)	Jan	Abr	Jul	Ago/Set	Prof. (m)	Jan	Abr	Jul	Ago/Set
0,1	*	*	*	8,28	0,1	*	*	*	13,77	0,1	*	*	*	9,86	0,1	*	*	*	12,66
0,2	*	*	*	14,76	0,2	*	*	*	15,59	0,2	*	*	*	11,9	0,2	*	*	*	14,06
0,3	*	*	*	15,47	0,3	*	*	*	16,09	0,3	*	*	*	12,37	0,3	*	*	*	15,8
0,5	*	19,05	14,26	14,51	0,5	*	19,67	14,52	14,73	0,5	*	16,93	13,61	13,67	0,5	*	20,52	15,06	15,20
1,0	25,21	22,56	17,39	18,27	1,0	29,97	22,97	17,44	15,94	1,0	22,99	21,10	15,49	14,92	1,0	24,52	23,15	16,39	17,34
1,5	*	24,36	20,04	19,05	1,5	*	24,51	19,21	19,70	1,5	*	21,60	16,17	16,53	1,5	*	21,94	16,12	15,39
2,0	27,23	25,00	21,60	20,92	2,0	27,41	25,3	20,87	20,24	2,0	18,03	23,13	14,57	17,82	2,0	21,09	21,72	17,76	16,57
2,5	*	24,65	21,84	22,59	2,5	*	25,48	22,49	21,56	2,5	*	21,22	**	15,74	2,5	*	21,70	18,04	16,64
3,0	27,75	26,13	22,81	21,74	3,0	31,25	26,58	24,91	24,14	3,0	24,40	**	**	**	3,0	22,66	21,69	19,01	18,96
3,5	*	27,69	23,77	23,31	3,5	*	28,07	25,7	25,43	3,5	*	**	**	**	3,5	*	19,42	19,45	**
4,0	28,89	28,27	24,05	22,49	4,0	*	28,86	25,05	24,47	4,0	*	**	**	**	4,0	*	21,21	18,59	**
Poço 5					Poço 6					Poço 7					Poço 7.1				
0,1	*	*	*	11,88	0,1	*	*	*	7,03	0,1	*	*	*	*	0,1	*	*	*	3,06
0,2	*	*	*	13,79	0,2	*	*	*	*	0,2	*	*	*	*	0,2	*	*	*	8,4
0,3	*	*	*	14,82	0,3	*	*	*	14,67	0,3	*	*	*	*	0,3	*	*	*	9,33
0,5	*	20,93	13,34	13,28	0,5	*	20,02	*	15,83	0,5	*	*	*	*	0,5	*	14,25	11,11	9,09
1,0	23,17	22,48	15,16	14,19	1,0	24,55	23,87	*	17,30	1,0	22,07	*	*	*	1,0	*	17,78	13,04	10,26
1,5	*	22,38	16,54	15,76	1,5	*	24,40	*	18,50	1,5		*	*	*	1,5	*	19,23	14,87	10,95
2,0	21,99	22,16	17,70	16,07	2,0	25,47	24,89	*	20,10	2,0	17,73	*	*	*	2,0	*	21,76	16,58	11,61
2,5	*	23,21	18,16	9,77	2,5	*	27,86	*	24,03	2,5	*	*	*	*	2,5	*	24,40	19,68	12,20
3,0	17,21	21,23	17,26	**	3,0	29,49	28,48	*	25,13	2,6	35,21	*	*	*	3,0	*	26,57	21,49	13,80
3,5	*	**	**	**	3,5	*	28,24	*	19,90	3,5	*	*	*	*	3,5	*	32,62	24,24	14,80
4,0	*	**	**	**	4,0	*	26,48	*	**	4,0	*	*	*	*	4,0	*	34,84	24,80	15,73
Poço 8					Poço 9					Poço 10									
0,1	*	*	*	13,94	0,1	*	*	*	15,55	0,1	*	*	*	10,03	*	*	*	*	*
0,2	*	*	*	15,54	0,2	*	*	*	15,37	0,2	*	*	*	12,23	*	*	*	*	*
0,3	*	*	*	16,17	0,3	*	*	*	14,67	0,3	*	*	*	14,01	*	*	*	*	*
0,5	*	19,23	15,93	16,68	0,5		24,39	17,78	14,48	0,5	*	21,99	13,35	14,10	*	*	*	*	*
1,0	23,27	23,11	18,01	17,25	1,0	28,48	28,75	20,88	21,05	1,0	24,65	24,50	16,72	13,70	*	*	*	*	*
1,5	*	24,51	19,42	18,45	1,5	*	28,89	23,04	23,95	1,5	*	25,80	17,96	15,80	*	*	*	*	*
2,0	25,86	24,97	19,59	17,46	2,0	27,72	29,04	23,41	24,19	2,0	25,81	27,04	19,16	17,60	*	*	*	*	*
2,5	*	25,84	20,56	19,20	2,5	*	30,22	8,34	25,03	2,5	*	23,55	**	16,60	*	*	*	*	*
3,0	29,84	27,27	22,65	21,00	3,0	29,23	28,88	**	25,57	3,0	16,66	**	**	**	*	*	*	*	*
3,5	*	27,42	22,91	21,02	3,5	*	**	**	**	3,5	*	**	**	**	*	*	*	*	*
4,0	*	25,03	22,80	20,14	4,0	*	**	**	**	4,0	*	**	**	**	*	*	*	*	*

* sem informação

A variação da umidade é apresentada a partir das variações sazonais ao longo do ano de 2010, considerando as seguintes situações:

- período compreendido entre os meses de janeiro e agosto-setembro/2010, para os diferentes locais estudados, analisando-se os mesmos horizontes;

- período compreendido entre os meses de janeiro e agosto-setembro/2010, considerando cada poço para as profundidades de 1 a 3 m;
- período de agosto-setembro/2010, considerando cada local para as profundidades de 0,1 a 0,5 m.

De um modo geral, conforme pode ser observado a partir das Figuras 6.21 (a), (b), (c), (d), (e) (f) e 6.22 (a),(b),(c), (d) e (e), a variação do perfil de umidade indica aumento da umidade conforme a profundidade para os diferentes períodos analisados. Para os meses de janeiro e abril, o comportamento da variação da umidade em profundidade indicou decréscimo nos valores da umidade com aumento da profundidade e, para julho e agosto, tendência contrária.

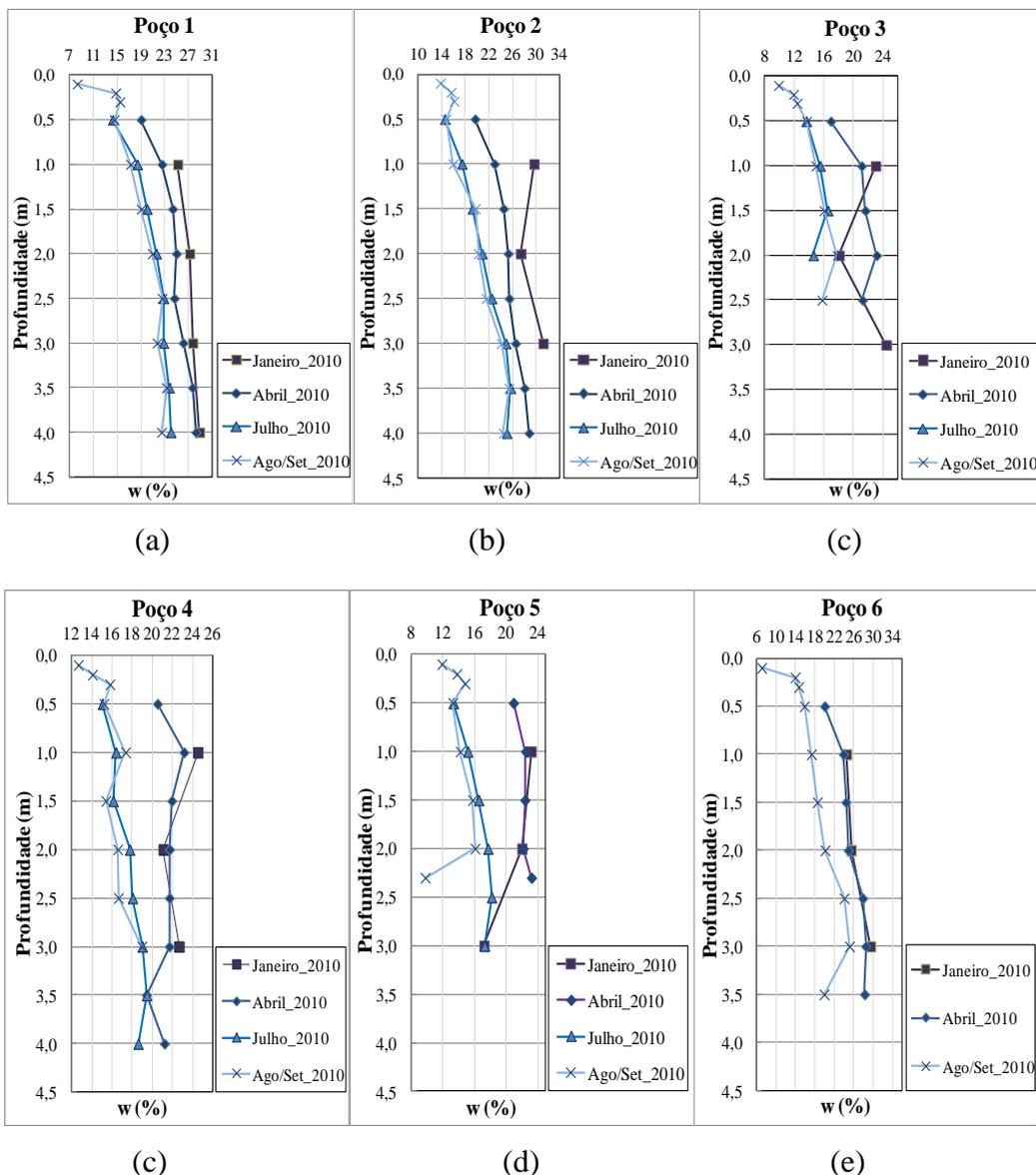


Figura 6.21 – Umidade de campo ($w_{\%}$): solos dos perfis situados na região norte de Goiânia-GO.

Observa-se que entre os meses julho e agosto-setembro/2010, para todos os poços, ocorreram as maiores perdas de umidade ao longo dos perfis, o que possibilita inferir a importância das condições atmosféricas estabelecidas na fronteira superfície do terreno-atmosfera. No mês de julho, as medidas obtidas em campo indicaram valores para a temperatura do ar entre 22,9 e 31,9°C e umidade relativa do ar entre 26% e 58%. Considerando as observações feitas por Campos et al. (2003) de que a média de insolação em julho é de 283,1 horas e a velocidade do vento nesse mês é de 1m/s, pode-se enfatizar o efeito das condições atmosféricas na alteração das condições de umidade dos solos.

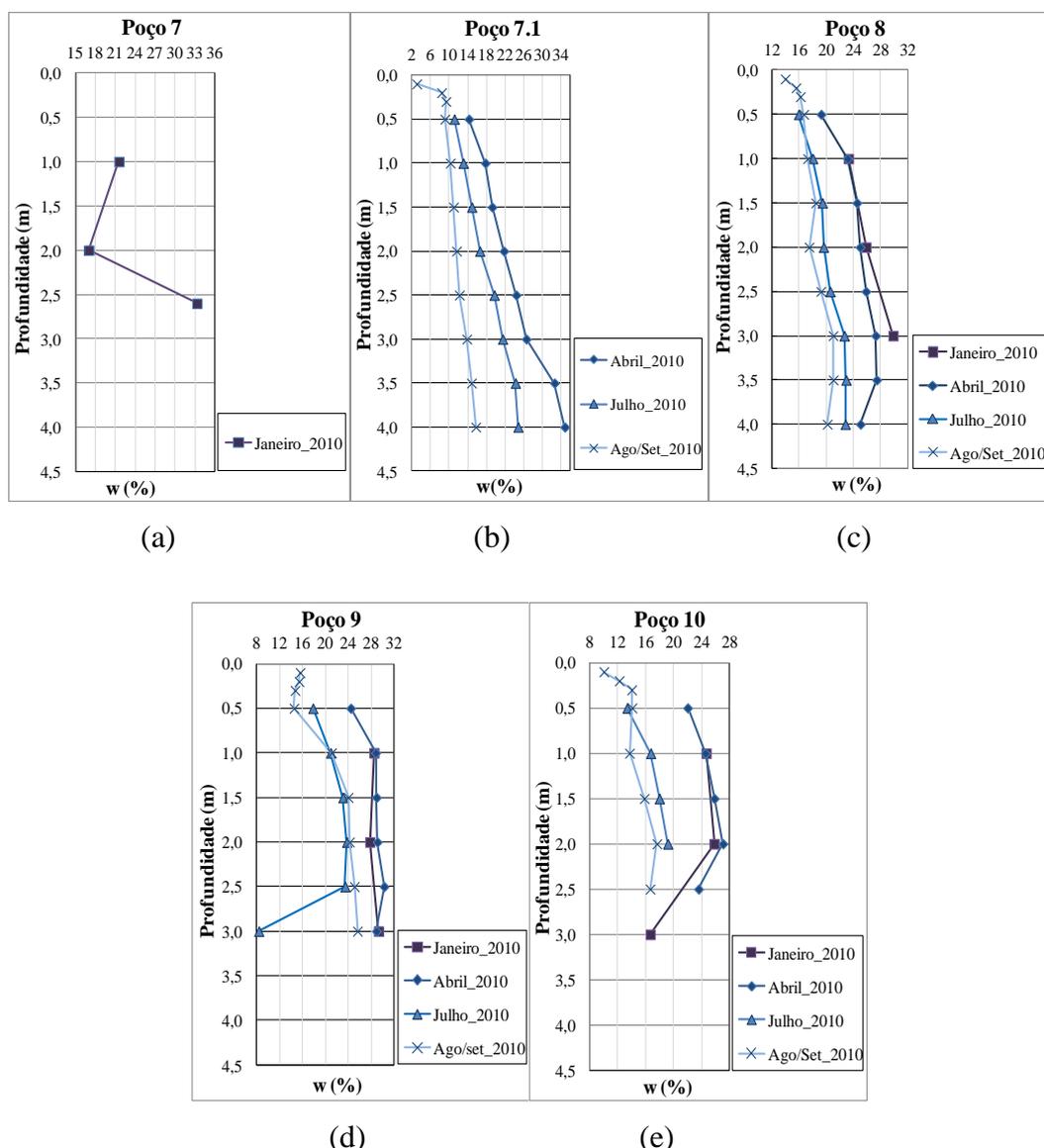


Figura 6.22 – Umidade de campo: perfis dos poços situados na região sul de Goiânia-GO.

Durante a realização dos ensaios no mês agosto-setembro, as leituras indicaram valores da temperatura do ar entre 23,3 e 41,3°C e a umidade relativa do ar entre 10% e 56%, com

predomínio de índices abaixo de 20%. Nesse mês, Campos et al. (2003) observam que a insolação apresenta em média 269,2 horas e que o vento apresenta velocidade de 1,4 m/s.

Para o horizonte de 2 m, as variações das umidades indicadas para o período entre janeiro e agosto/setembro incidiram em perdas de 3% e 10%, exceto para o Poço 3, o qual indicou variação entre o respectivo período de apenas 0,21%.

Os perfis com maior expressão na variação da umidade na profundidade de 2 m foram aqueles relacionados aos Poços 2, 7.1, 8 e 10, os quais indicaram variação entre 7% e 10%. Para 3 m de profundidade, as perdas mais expressivas de umidade entre janeiro e agosto-setembro podem ser observadas para os perfis representativos dos Poços 7.1 e 8, respectivamente 12% e 8%. Especificamente os perfis representativos dos Poços 3, 5 e 10 não apresentaram informações para esta análise, pois não foi possível obter as umidades nessa profundidade.

A partir da Figura 6.23, é possível observar a variação da umidade entre os períodos de janeiro e agosto-setembro/2010 para os mesmos horizontes dos diferentes perfis estudados. A análise aponta para a profundidade de 1 m como sendo a camada que apresentou, entre os meses de janeiro e agosto/setembro, as maiores diferenças de umidade, exceto para o Poço 8, onde as maiores perdas para o respectivo período ocorreram em 3 m de profundidade. Observa-se que as diferenças mais expressivas observadas para o horizonte de 1 m ocorreram para os Poços 2 e 10, com perdas de 11% e 14%.

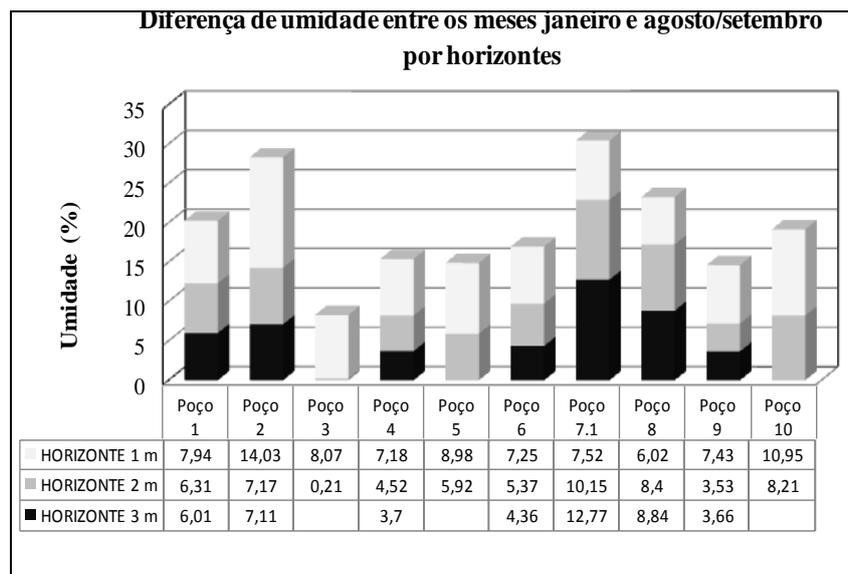


Figura 6.23 – Diferença sazonal de umidade (w_{nat}) entre os meses de janeiro e agosto-setembro/2010: perfis situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

A Tabela 6.14 apresenta, conforme discutido nos Capítulos 4 e 5, a posição dos perfis estudados na vertente de forma a identificar possíveis relações entre as variações nas condições de umidade local com as características morfológicas do terreno, com a cobertura do solo e com a temperatura aparente da superfície. Considerando os poços que apresentaram variações mais expressivas da umidade por horizontes, todos se encontram inseridos na vertente cuja orientação é NE e NW e as declividades são inferiores a 4%. Quanto ao atributo curvatura do terreno, para os Poços 2 e 10 é côncava no perfil e ao longo das curvas de nível (curvatura plana); para os Poços 7.1 e 8, é convexa no perfil e retflinea ao longo das curvas de nível.

Tabela 6.14 – Posição dos poços *versus* características morfológicas, cobertura do solo e temperatura aparente da superfície (°C) nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Poços	Orientação	Declividades (%)	Cobertura do solo	Curvatura		Temperatura aparente do solo (°C)	
				Perfil	Plana	12/7	29/8
1	SW	3,4	Pastagem	Convexa	Convexa	24, 1- 41,2	29,7 - 32,2
2	NE	4,0	Pastagem	Côncava	Côncava	24, 1- 41,3	29,7 - 32,3
3	NW	4,4	Pastagem	Côncava	Convexa	21,1-23,0	32,2-35,4
4	E	5,0	Preservação (alterada)	Convexa	Retflinea	21,1-23,1	29,7-32,2
5	SE	8,3	Pastagem	Côncava	Convexa	21,1-23,2	32,2-35,4
6	SW	3,7	Gramínea "invasora"	Convexa	Convexa	19,1-21,0	27,2-29,7
7	N	4,6	Pastagem/pomar	Côncava	Convexa	19,1-21,0	27,2-29,7
7.1	NE	1,4	Pastagem	Convexa	Retflinea	24, 1- 41,2	29,7-32,2
8	NE	1,2	Gramínea "invasora"	Convexa	Retflinea	21,1-23,0	24,2-27,2
9	SE	2,9	Preservação (alterada)	Convexa	Convexa	21,1-23,1	29,7-32,2
10	NW	0,7	Pastagem	Côncava	Côncava	21,1-23,2	32,2-35,4

Ao analisar os perfis com as maiores perdas de umidade entre os horizontes e a relação com a temperatura aparente da superfície, especificamente para o período de 29/08, é possível observar, a partir da Tabela 6.14, que os Poços 2 e 10 encontram-se inseridos na classe cuja indicação da temperatura aparente da superfície é de 32 a 35°C e os Poços 7.1 e 8, encontram-se respectivamente entre as classes 29,7 e 32,2°C e 24,2 e 27,2°C. Quanto à cobertura do solo, todos os perfis encontram-se em áreas de pastagem, exceto o perfil do Poço 8, cuja cobertura é gramínea invasora.

O fato de os perfis representativos dos solos dos poços 2 e 10 estarem situados na vertente cuja curvatura é côncava-côncava permite inferir-se a possibilidade de maior concentração das águas das chuvas. Assim, é possível ponderar que, mediante temperaturas mais elevadas no decorrer de determinado período, decorre a possibilidade das maiores perdas da umidade até a camada de 2 e 3 m. Por outro lado, ao se considerarem as profundidades de 2 e 3 m, os perfis indicados com maiores perdas de umidade entre janeiro e agosto/setembro foram os Poços 7.1 e 8. Esses perfis encontram-se posicionados na vertente em que a curvatura do

terreno é convexa-retílinea. Essa característica poderia indicar dispersão do fluxo superficial. Mas os perfis apresentam, conforme apresentado no Capítulo 5, baixas declividades e posicionados em locais onde o comprimento de fluxo superficial é curto para o perfil 8 e nulo para o 7.1. Essas características associadas ainda à orientação das vertentes, no caso dos dois perfis para NE, permitem inferir-se que esses aspectos favorecem as maiores perdas de umidade até a profundidade de 3 m.

Como já comentado no Capítulo 4, Mendonça (1994) afirma que, no decorrer do ano, no hemisfério sul, as vertentes com orientação norte, noroeste, nordeste, oeste e leste recebem mais energia “calorífico-luminosa” que aquelas voltadas às demais direções, o que poderia justificar temperaturas mais elevadas da superfície e conseqüentemente maiores perdas de umidade. Entretanto, as baixas declividades indicadas para os locais onde os perfis estudados encontram-se inseridos não garantem temperatura aparente da superfície mais elevada, conforme as orientações mencionadas por Mendonça (1994). Ao se considerar a influência dos atributos morfológicos, a cobertura do solo e a temperatura aparente da superfície, é possível inferir-se que a temperatura aparente das superfícies voltadas para o quadrante N associadas à cobertura do solo por pastagem e à curvatura do terreno, pode justificar as maiores perdas de umidade encontradas entre período janeiro e agosto-setembro até a camada de 3 m.

A análise da variação da umidade por horizontes permite ainda destacar as diferenças de umidade cujos valores aumentam entre os horizontes, do topo para a base, como observado para o perfil do Poço 8, do que é possível inferir maior dessecação do perfil de solo analisado. As maiores diferenças indicadas para o Poço 7.1 em 2 e 3 m de profundidade podem ter relação com o fato de que esse poço encontra-se inserido em uma região cuja geomorfologia indica área de Chapadas, com consideráveis níveis de concrecionamento, referenciada por Casseti (1992) como uma área de recarga.

A Figura 6.24 apresenta a análise das diferenças nos valores de umidade especificamente no perfil, entre os horizontes 1 e 3 m, considerando os distintos momentos do ano de 2010. Observa-se uma tendência ao aumento nas diferenças de umidade ao longo do perfil, conforme se aproximam os meses mais secos, quando as perdas são mais intensas nos horizontes mais superficiais. Isso é observado principalmente nos Poços 1, 2, 6, 7.1 e 8.

No mês de janeiro, as precipitações constantes permitem que o perfil seja alimentado com a

água de precipitação, ocorrendo, muitas vezes, umidades mais elevadas na superfície do terreno. Em perfis bem drenados, a rápida descarga da água infiltrada contribui para a tendência de ocorrerem perfis de umidade com valores mais homogêneos. Ao contrário, nos meses de agosto-setembro, a escassez de chuva associada à baixa umidade atmosférica exerce influência nos horizontes superficiais, fazendo com que tais horizontes apresentem valores de umidades mais baixos.

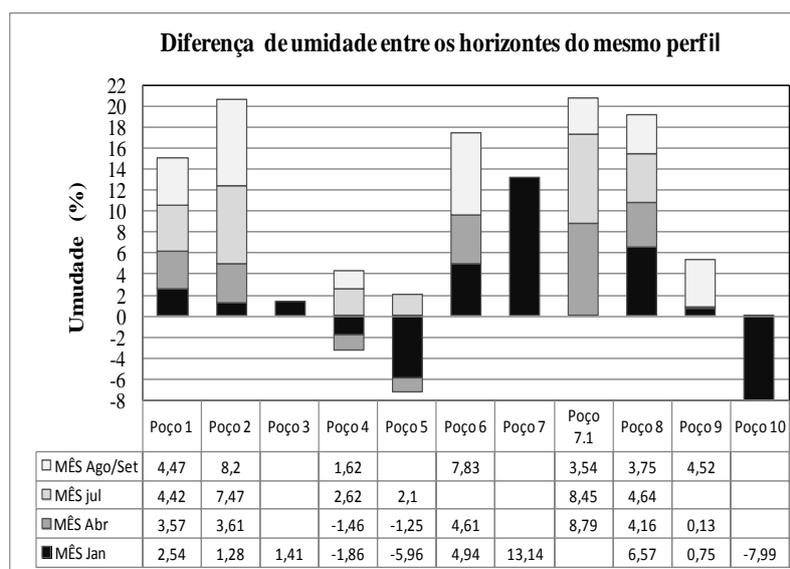


Figura 6.24 – Diferença sazonal de umidade (w_{nat}) entre os horizontes de um mesmo perfil, em poços situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

A partir da Tabela 6.14, é possível observar a relação dos poços com as maiores diferenças de umidade do perfil, em 1 e 3 m, com parâmetros morfológicos, cobertura do solo e temperatura aparente da superfície. Os perfis que apresentaram as maiores variações de umidade entre os horizontes 1 e 3 m foram os Poços 1, 2, 6, 7.1 e 8. Esses poços encontram-se inseridos na vertente cuja curvatura do terreno é convexa ao longo do perfil (curvatura no perfil), exceto para o Poço 2, o qual apresenta curvatura em perfil côncava. Para a curvatura ao longo das curvas de nível (curvatura plana), os perfis encontram-se posicionados na vertente cuja curvatura do terreno é tanto côncava quanto convexa e retilínea. As declividades apresentam-se inferiores a 4%, e a cobertura do solo é pastagem e gramínea invasora.

Quanto à orientação das vertentes, os respectivos poços encontram-se posicionados na vertente cuja orientação é SW e NE. Considerando a possível relação da temperatura aparente da superfície e a variação de umidade, destaca-se que os perfis encontram-se inseridos em classes cuja variação da temperatura aparente da superfície ocorreu entre 29 e 35,4°C, exceto

o Poço 8, em que a variação foi entre 24 e 27,2°C. Diferentemente das variações da umidade por horizontes, a análise da variação da umidade ao longo do mesmo perfil durante o ano de 2010 não permite observar relação com os atributos morfológicos, com a cobertura do solo e com a temperatura aparente da superfície.

Os Poços 4, 5 e 10 apresentaram decréscimo no teor de umidade com a profundidade. Para os Poços 4 e 5, essas variações estão relacionadas aos meses de janeiro e abril. Esse fato permitiu perceber a influência do período chuvoso e a distribuição espacialmente irregular das chuvas, o que pode justificar as variações negativas da umidade, contribuindo com umidades mais elevadas na superfície do terreno. O Poço 10 apresentou variação negativa da umidade devido aos baixos valores indicados para a profundidade de 3 m no mês de janeiro, o que resultou em valores de umidade em 1 m em torno de 24% e, em 3 m, 16%. Em 3 m, foram encontrados fragmentos de rocha, o que pode ter favorecido a drenagem da água de infiltração.

A Figura 6.25 apresenta as variações de umidade entre os perfis estudados nas profundidades de 0,1 e 0,5 m, especificamente para agosto-setembro/2010. Para os Poços 1, 3, 6 e 7.1, foram observados os menores valores de umidade em 0,1 m, entre 3% e 10%. As maiores diferenças de umidade entre 0,1 e 0,5 m de profundidade foram observadas para os perfis Poços 1, 6 e 7.1 e as menores diferenças foram associadas aos Poços 2 e 5.

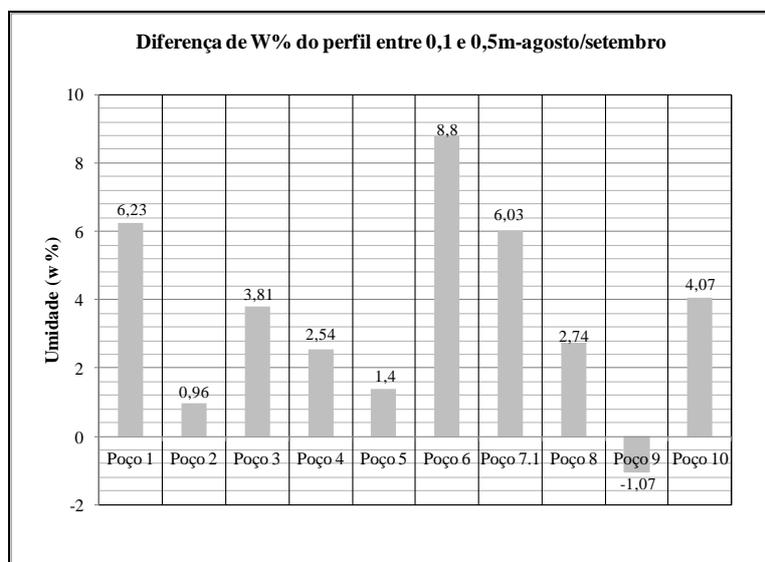


Figura 6.25 – Diferença de umidade (w_{nat}) no perfil entre as profundidades 0,10 e 0,50 m em agosto-setembro/2010, em poços estudados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Os perfis que apresentaram as maiores perdas entre 0,1 e 0,5 m de profundidade encontram-se posicionados nas vertentes com face para SW e nordeste NE. Quanto à curvatura do terreno, o

posicionamento dos perfis na vertente indica curvatura convexa, côncava e retilínea no perfil; ao longo das curvas de nível, a curvatura é convexa e retilínea. As declividades estão entre 1% e 3,7%, e a cobertura do solo é por pastagem do tipo braquiara e gramínea invasora. Os perfis encontram-se inseridos em locais onde a temperatura aparente da superfície, em agosto/setembro, ficou entre 27 e 32°C. Já os perfis com menores perdas de umidade no respectivo período, poços 2 e 5, encontram-se posicionados NE e SE. A curvatura do terreno é côncava no perfil e côncava e convexa ao longo das curvas de nível, com declividades entre 4% e 8,3 % e cobertura do solo com pastagem. Do exposto, é possível inferir-se que os atributos morfológicos, a cobertura do solo e a temperatura aparente da superfície não exerceram influência na maior ou menor perda da umidade entre as camadas de 0,1 e 0,5 m dos perfis estudados.

É importante destacar a variação negativa de umidade (Figura 6.25) associada ao perfil do Poço 9. Pode-se inferir que o valor negativo poderia estar associado à existência de matéria orgânica nos solos superficiais, a qual auxiliar na manutenção da umidade nas camadas superficiais. Foi observado que, no local onde o poço 9 encontra-se inserido, a área passa pelo sistema por irrigação, o que pode justificar a diferença de umidade encontrada.

Observa-se que as declividades indicadas para os perfis de solos estudados, no geral, é inferior a 5%, exceto para o Poço 8 que é de 8,3%, o que incide na tendência da componente perpendicular. Ou seja, há tendência de infiltração das águas da chuva, favorecendo, assim, o fluxo descendente em meio não saturado durante a estação chuvosa. Alternativamente, durante o período seco, sob essas mesmas condições, o fluxo ascendente é favorecido. O ciclo de umedecimento e secagem estabelecido sazonalmente pode responder pelas variações das propriedades geotécnicas observadas até aproximadamente 2 m de profundidade.

A região de Goiânia apresenta forte sazonalidade com tendência ao prolongamento do período seco no decorrer do ano, associada a elevadas temperaturas do ar e baixos índices de umidade relativa do ar (Capítulo 4). Essas condições, associadas aos valores indicados para a temperatura aparente de superfície durante o período mais seco (julho, agosto e setembro), com baixa velocidade dos ventos, criam demanda de umidade na atmosfera, o que favorece os processos de evaporação.

Levantamento realizado por Fonzar (1997), a partir das Normas Climatológicas de 1931-1960 e 1961-1990, aponta para o aumento na taxa de evaporação de 1361 e 1576 mm para os

referidos períodos. Esses resultados confirmam aqueles discutidos no Capítulo 4 para o comportamento da temperatura do ar. Essa tendência favorece as maiores perdas da umidade. Por outro lado, da tendência de diminuição nos índices de umidade relativa do ar em 6,9% (apresentado no Capítulo 4), associada ainda à estabilidade atmosférica, é possível inferir-se a possibilidade de maiores perdas de umidade do solo, em função da demanda na interface solo-atmosfera.

6.3.4.1 - VARIAÇÃO SAZONAL DO GRAU DE SATURAÇÃO (Sr)

A partir das Figuras 6.26 (a) e (b), é possível observar o grau de saturação (Sr) dos perfis estudados indicou variações entre 40% e 70% no mês de janeiro e, entre 14 e 20% no mês de abril. Os maiores valores ocorrem para a região norte de Goiânia. É também nessa região que as variações ao longo da profundidade não apresentam-se expressivas se comparadas com os perfis de solos situados na região sul. No mês de janeiro, a saturação apresenta variações de pouca expressão quando se comparam as duas regiões, o que não ocorre no mês de abril, quando a região norte apresenta indicações de menores valores de Sr, entre 12% e 17%, enquanto na região sul os índices apontam para valores entre 14% e 20%.

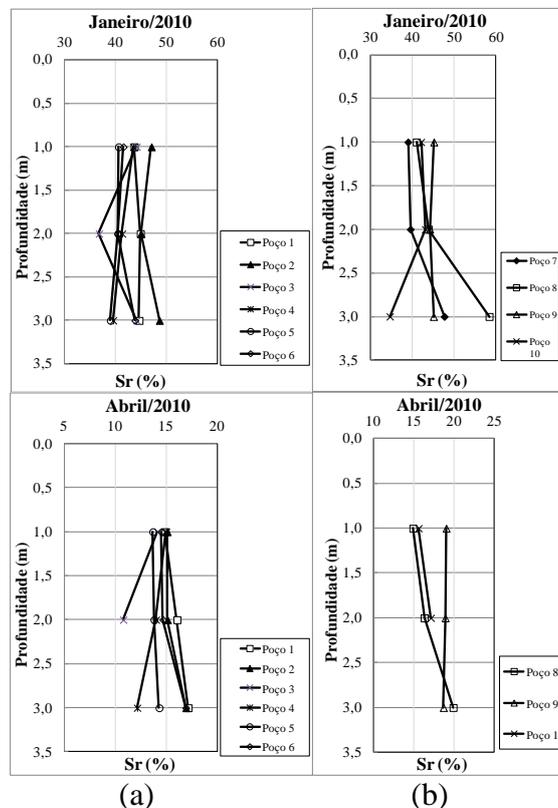


Figura 6.26 – Grau de Saturação (Sr) correspondente aos meses de janeiro e de abril/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

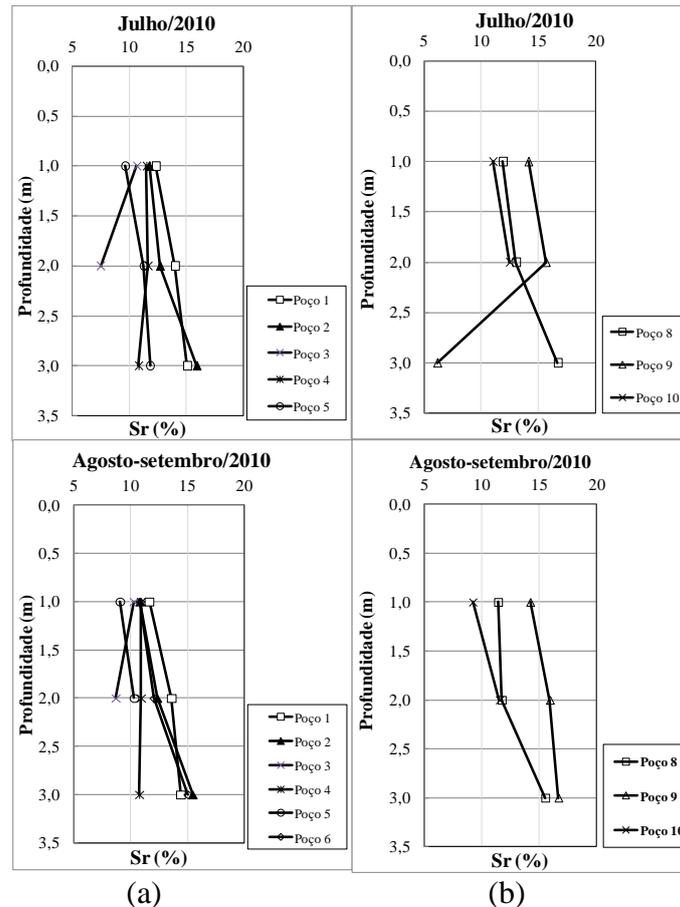


Figura 6.27 – Grau de Saturação (Sr) correspondente a julho e agosto-setembro/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

6.4 - ENSAIOS *IN SITU*

Essa seção apresenta os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados *in situ*. Esses ensaios contemplaram a obtenção não só do peso específico natural (γ_{nat}), pelo método do frasco de areia e pelo método designado de não convencional, como também da taxa de infiltração, a partir dos métodos dos anéis de cilindros concêntricos e de rebaixamento em poços perfurados com o trado.

6.4.1 - OBTENÇÃO DO PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO

Conforme descrito no Capítulo 3, foi realizada a avaliação do peso específico natural do solo (γ_n) por meio de ensaios *in situ*. A partir do método do frasco de areia, foi obtido o peso específico natural do solo (γ_n) para as profundidades de 0,1, 0,2 e 0,3 m. Alternativamente, avaliando-se o volume do material coletado a cada 0,5 m de profundidade, foi feita a estimativa desse mesmo parâmetro para as profundidade de até 3 m e, quando possível, até 4 m.

6.4.1.1 - PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO: MÉTODO DO FRASCO DE AREIA

Os valores do peso específico natural do solo (γ_n), pelo método do frasco de areia foram obtidos na campanha de campo realizada entre os dias 28/08 e 06/09/2010, para cada um dos poços estudados. Conforme pode ser observado a partir da Tabela 6.15, os valores obtidos apresentam variações entre 13,97 e 18,82 kN/m³.

Tabela 6.15– Valores do peso específico natural (γ_n), peso específico do solo seco (γ_d) e umidade de campo (w%) nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Poço 1				Poço 2			
Prof. (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)	Prof. (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	w (%)
0,1	15,24	14,07	8,28	0,1	16,82	14,78	13,80
0,2	16,80	14,64	14,80	0,2	18,56	16,05	15,60
0,3	14,47	12,53	15,50	0,3	15,51	13,36	16,10
Poço 3				Poço 4			
0,1	17,96	16,35	9,86	0,1	15,59	13,84	12,7
0,2	16,61	14,83	11,99	0,2	14,81	12,99	14,1
0,3	18,33	16,31	12,37	0,3	15,36	13,26	15,80
Poço 5				Poço 6			
0,1	15,22	13,60	11,88	0,1	14,75	13,78	7,03
0,2	14,32	12,59	13,79	0,2	16,90	14,83	13,9
0,3	13,97	12,17	14,82	0,3	15,22	13,28	14,7
Poço 7.1				Poço 8			
0,1	16,40	15,82	3,660	0,1	16,43	14,42	13,94
0,2	18,02	16,62	8,440	0,2	17,00	14,72	15,54
0,3	18,46	16,89	9,330	0,3	16,92	14,57	16,17
Poço 9				Poço 10			
0,1	17,66	15,29	15,55	0,1	18,09	16,44	10,03
0,2	18,33	15,89	15,37	0,2	18,79	16,73	12,34
0,3	16,26	14,18	14,67	0,3	18,82	16,51	14,01

A partir da Figura 6.28 (a) e (b), é possível observar a variação do peso específico do solo seco (γ_d kN/m³) entre 0,1 e 0,3 m de profundidade. Os perfis de solos dos poços situados na porção norte do Município de Goiânia indicam maior variação ao longo da profundidade quando comparados aos perfis da região sul.

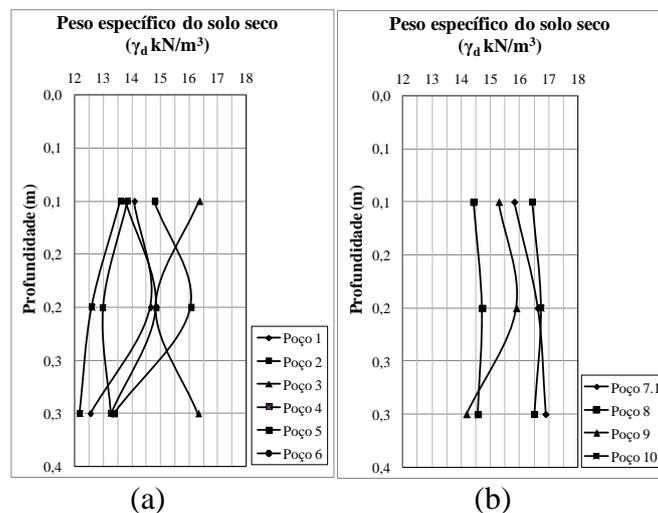


Figura 6.28 – Peso específico natural do solo (γ_d): (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

6.4.1.2 PESO ESPECÍFICO NATURAL DO SOLO: MÉTODO NÃO CONVENCIONAL

Foi obtido o peso específico natural do solo (γ_n) por método não convencional, cujo procedimento foi explicado no Capítulo 3 (seção 3.3.3), de forma a acompanhar a variação sazonal da umidade dos perfis de solos, compreendendo os períodos de abril, julho, agosto-setembro/2010. Como nesse procedimento a obtenção do peso específico natural do solo foi feita a partir do volume do material coletado, utilizando amostras deformadas, obtidas por meio de furo a trado, ocorreu que, em condições de umidade abaixo do w_p e acima do w_L , o desempenho do trado inviabilizou a estimativa dos volumes coletados. Por outro lado, acrescenta-se o fato de que o processo de cravação do trado altera a estrutura do solo.

O material coletado não representava o material representativo para certos níveis de profundidade, conforme demonstrado a partir da Figura 6.29, o que resultou em estimativas não confiáveis, ora subestimando, ora superestimando o valor do peso específico natural do solo. Como foram obtidos valores do γ_n pelo método da balança hidrostática, estes foram considerados como referencial para validar os resultados obtidos pelo método não convencional, os quais apresentaram valores próximos aos valores apresentados a partir do método da balança hidrostática.



Figura 6.29 – Coleta de material realizada em agosto-setembro/2010 para obtenção do γ_n (método não convencional): (a) Poço 2 em 0,5 m e (b) Poço 8 em 2 m.

A Tabela 6.16 apresenta os valores referentes ao γ_n obtidos pelos métodos convencional e não convencional (estimado), as respectivas umidades e os índices físicos γ_d (kN/m^3), e , e S_r (%). Observa-se que o índice de vazios sugere sensível diminuição nos valores apresentados para o método não convencional, o que pode ser justificado pelo fato de que, no método não

convencional, foram obtidos em épocas distintas da obtenção no método convencional (balança hidrostática).

Nesse sentido, os valores do método não convencional (estimado) foram obtidos no período seco, e os referentes ao método convencional (balança hidrostática), no úmido. Dessa forma, outro fator que pode ter influenciado os valores dos métodos não convencionais serem menores que os valores apresentados no método convencional seria a contração ocorrida devido ao ressecamento do solo. O grau de saturação obtido para os diferentes períodos encontra-se em conformidade com os resultados discutidos na apresentação da variação sazonal do grau de saturação, na seção 6.3.4.1. A partir da Figura 6.30, observa-se a correlação entre os valores apresentados para o peso específico do solo seco (γ_d), obtidos a partir do método da balança hidrostática e do método não convencional.

Tabela 6.16 – Valores obtidos do peso específico do solo (γ_n) pelos métodos da balança hidrostática e não convencional e, respectivamente, peso específico do solo seco (γ_d), índice de vazios (e), porosidade (n) e grau de saturação (S_r).

Mês/Ano	Poço	γ_n método balança hidrostática						Mês/Ano	γ_n método não convencional				
		Prof. (m)	W% (%)	γ_n (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	S (%)		W% (%)	γ_n (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	e	S (%)
Janeiro	6	3,0	29,49	16,02	12,37	1,223	66,30	abr/10	28,48	15,91	12,38	1,221	17,88
	1	1,0	25,21	13,73	10,97	1,572	45,23	jul/10	18,39	12,59	10,72	1,631	16,92
	3	1,0	22,53	14,6	11,76	1,581	45,30	Agosto/Setembro/10	14,51	14,65	12,79	1,205	17,64
	4	1,0	25,00	14,31	11,49	1,48	48,13		14,92	13,19	11,47	1,641	17,65
	6	1,0	24,9	13,94	11,25	1,453	47,29		16,34	13,41	11,53	1,472	17,48
	8	1,0	23,00	13,54	10,97	1,489	42,18		17,30	13,40	11,43	1,416	17,29
	10	1,0	24,8	14,04	11,25	1,444	47,22		17,35	12,15	10,36	1,635	16,57
							13,69	14,92	13,12	1,096	18,35		

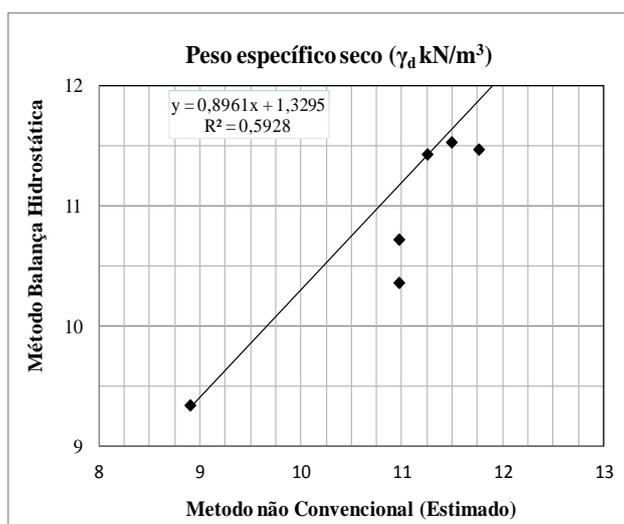


Figura 6.30 – Correlação entre o peso específico seco: método da balança hidrostática versus método não convencional (estimado) – solos dos perfis dos poços 1, 3, 4, 6, 8 e 10 – profundidades 1 e 3 m.

6.5 - CURVA CARACTERÍSTICA E INFILTRAÇÃO NOS PERFIS ESTUDADOS

Esta seção apresenta os resultados relativos à obtenção da curva característica, considerando, dentre os pontos estudados, os Poços 1, 6 e 8. Para o Poço 1, não foi realizado o ensaio para a profundidade de 1 m. A análise foi feita relacionando a sucção e w (%) e S_r (%). Apresenta ainda os resultados dos ensaios de infiltração realizados *in situ*, para os poços situados na região norte (1, 2, 3, 4, 5 e 6) e na região sul (7, 1, 8, 9 e 10).

6.5.1 - DETERMINAÇÃO DA CURVA CARACTERÍSTICA: MÉTODO DO PAPEL FILTRO

Conforme apresentado no Capítulo 3, a curva de retenção de água foi obtida a partir da técnica do papel filtro, com trajetória mista, obtendo-se a sucção total ao longo do perfil de profundidade do Poço 1 nas cotas de 2, 3 e 4 m, e dos Poços 6 e 8 nas profundidades 1, 2 e 3 m. Para fins comparativos, apresentam-se as curvas características, para se verificar a variação da sucção em relação à umidade (w) e ao grau da saturação (S_r).

De forma geral, as curvas indicam que os solos apresentam estrutura de macro e microporosidade, típica de solos com estrutura bimodal, conforme sugerem Camapum de Carvalho & Leroueil (2004). Observa-se, a partir das Figuras 6.31 (a), (b), (c) e 6.32 (a), (b) e (c), que as curvas características, com relação aos valores de sucção e umidade (w) e de sucção e grau de saturação (S_r), apresentam-se homogêneas quando são comparados os resultados entre as profundidades em cada perfil.

Para os poços ensaiados, verificou-se que, dependendo do intervalo, para pequenas variações de umidade, podem ocorrer tanto grandes quanto pequenas variações de sucção. Para avaliar os intervalos de umidade em que essas variações de sucção em função da umidade são grandes ou pequenas, deve-se levar em conta a distribuição de poros presentes no solo. Considerando-se os aspectos gerais no domínio dos macroporos, quando as umidades são superiores a 25%, essas variações tendem a afetar pouco a sucção dos solos ensaiados. Para variações de umidade entre 15% e 25%, trecho compreendido entre os domínios dos macroporos e microporos, percebe-se que pequenas variações de umidade correspondem a grandes variações na sucção.

Apesar de a curva ser bastante verticalizada (escala logarítmica), na região de microporos, pequenas variações de umidade podem corresponder a grandes variações de sucção, quando

essa umidade é inferior a 15%. No entanto, como essas variações ocorrem no interior dos agregados, geralmente não interferem de modo significativo, nem no comportamento hidráulico, nem no mecânico.

Quanto à relação da sucção com o grau de saturação ($S_r\%$), observa-se tendência semelhante à registrada para as curvas características em função da umidade, variando, porém, os valores limites, entre os poços estudados (Figura 6.32 (a), (b) e (c)). Para os perfis dos solos do Poço 1, apresentados na Figura 6.32 (a), verifica-se que a região de macroporos ocorre para grau de saturação superior a 50% e que a de microporos, para valores de saturação inferiores a 30%, incidindo uma elevada variação da sucção entre esse dois limites. Os perfis dos solos do Poço 6, apresentados na Figura 6.32 (b), indicam limites dos macroporos correspondendo ao grau de saturação de aproximadamente 60% e dos microporos de 35%.

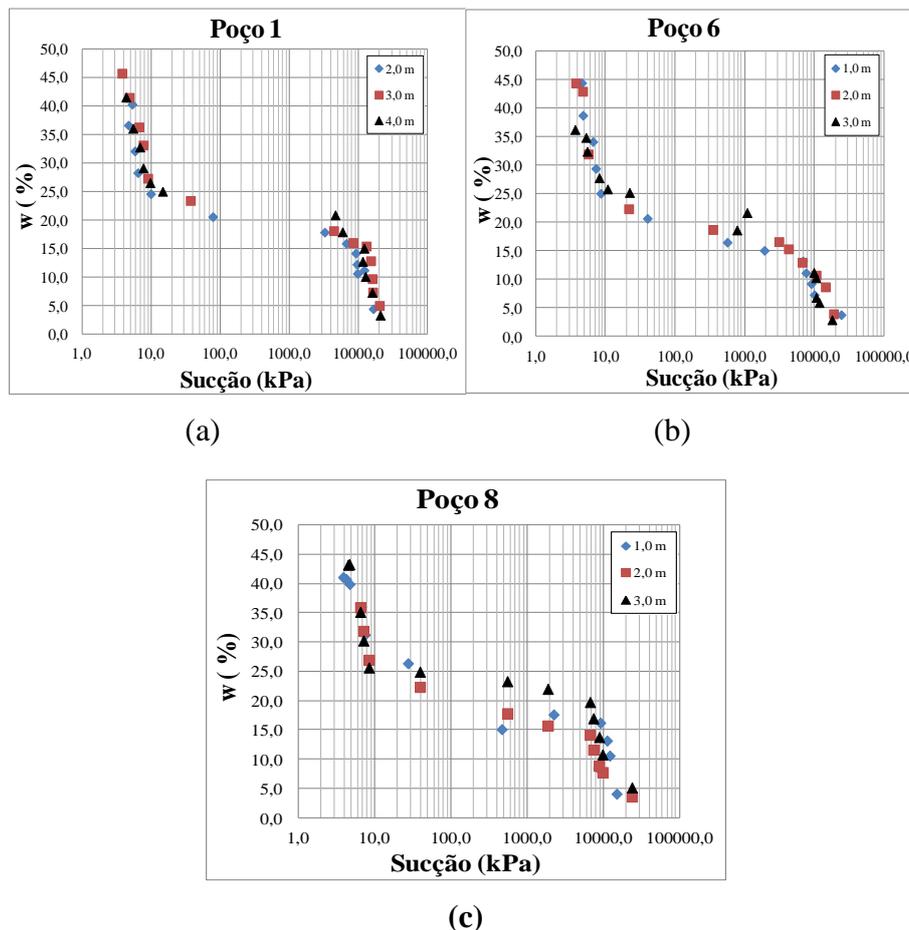


Figura 6.31 – Curva característica: relação sucção *versus* umidade (w) dos solos dos perfis – (a) Poço 1; (b) Poço 6 e (c) Poço 8 – situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Para os perfis dos solos do Poço 8, apresentados na Figura 6.32 (c), os limites dos valores de S_r são de aproximadamente 65%, para o domínio dos macroporos, variando de 40% a 50%

para o domínio dos microporos. Ao longo do perfil do Poço 8, ocorre maior variação entre as curvas características referentes às profundidades analisadas, especificamente para 3 m de profundidade.

As variações nos valores de sucção onde terminam os macroporos e se iniciam os microporos, bem como as diferenças nas inclinações das curvas características, nos dois domínios, apontam para diferenças estruturais entre as amostras dos três poços analisados. Como pode ser observado, a proporção de microporos em relação aos macroporos é maior no Poço 8 do que nos Poços 1 e 6, porque, conforme visto na curva característica, a variação do grau de saturação do domínio dos microporos é de 30% nos Poços 1 e 6 e, no Poço 8, é de 50%.

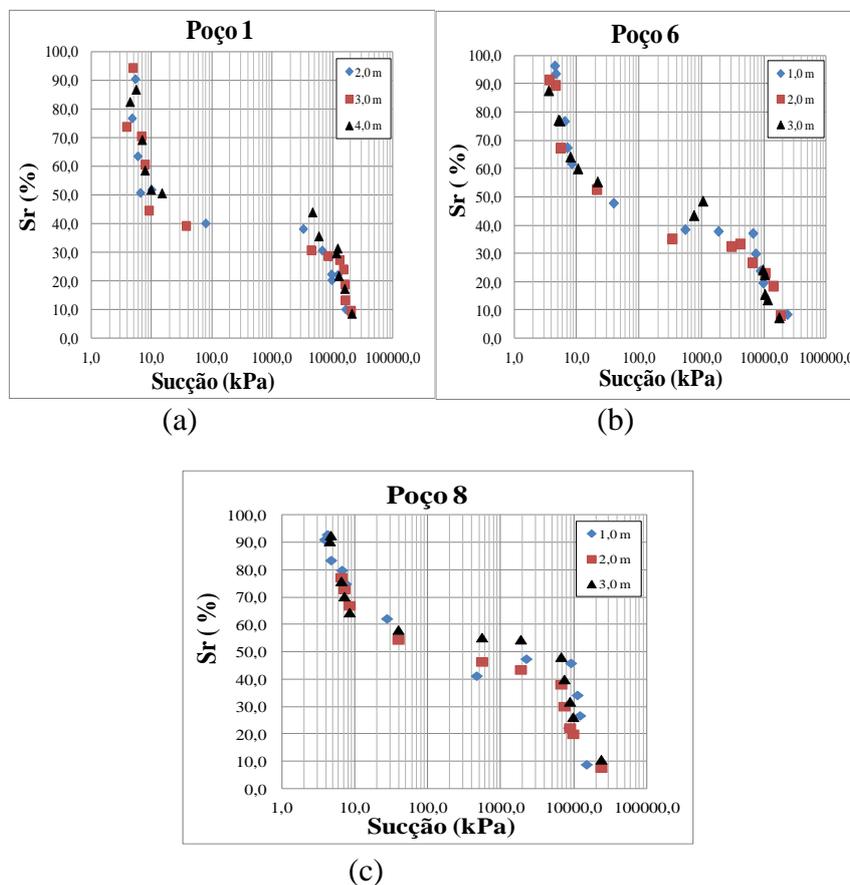


Figura 6.32 – Curva característica: relação sucção *versus* saturação (Sr) dos solos dos perfis – (a) Poço 1; (b) Poço 6 e (c) Poço 8 – situados nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Ao se considerar, no mês de agosto/setembro/2010, a variação de umidade ao longo do perfil para o Poço 1 (item 6. 3.4) entre 8% e 22%, para o Poço 6 entre 7% e 25% e para o Poço 8 entre 13% e 20%, por causa do comportamento observado nas curvas características, acredita-se que, nessa condição de variação ao longo do perfil, o gradiente de sucção seja elevado. Nessa situação, o perfil do Poço 8 encontra-se praticamente no domínio dos microporos, pois

o teor de umidade é inferior a 15% para todas as profundidades. Ao contrário, os poços 1 e 6 não estão restritos ao domínios dos microporos, pois, em algumas profundidades, situam-se na transição dos domínios.

No período chuvoso, o gradiente de sucção não foi muito elevado ao longo do perfil, pois a variação de umidade no mês de janeiro (item 6.3.4) situou-se no domínio dos macroporos. No Poço 1, a umidade ficou entre 25% e 29%; no Poço 6, entre 24% a 29%, e no Poço 8 a umidade ficou entre 23% e 29%. Por outro lado, ao final do período chuvoso, o gradiente de sucção foi bastante elevado ao longo do perfil, pois a variação de umidade no mês de abril encontrou-se na transição dos domínios, uma vez que, no Poço 1, a umidade ficou entre 19% e 27%; no Poço 6, entre 20% e 25%, e no Poço 8 a umidade ficou entre 20% e 24%.

Vale ressaltar que as variações de sucção entre os limites da macro e microporosidade são as que mais intervêm nos processos de infiltração. Dessa forma, considerando que a variação de umidade ao longo do perfil dos poços ensaiados encontra-se, no final da estação chuvosa (abril), na faixa de transição dos domínios, é possível inferir-se que, nesse período, ocorre maior variação de sucção ao longo do perfil, com possível influência no processo de infiltração.

6.5.2 - ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Conforme descrito no Capítulo 3, os ensaios de infiltração em campo foram realizados a partir de dois métodos: método do Infiltrômetro de cilindros concêntricos e método de rebaixamento em poços perfurados com o trado. O método do infiltrômetro de cilindro concêntrico é bastante utilizado por engenheiros, agrônomos e outros profissionais e serve para estimar a taxa de infiltração superficial de diferentes tipos de solo sob determinadas condições. Segundo Barraud (2005), considerando as diversas aplicabilidades do ensaio, entende-se que esse método seja compatível com os eventos de chuva numa superfície. Portanto, é importante no dimensionamento de projetos de infiltração das águas pluviais urbanas, ou mesmo para o entendimento dos mecanismos de infiltração e escoamento superficial no solo.

Durante a realização dos ensaios infiltração *in situ*, os parâmetros relativos à temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos em campo, conforme descrito no Capítulo 3. Para os parâmetros referentes à velocidade do vento e à precipitação respectiva ao período dos ensaios, foram obtidos dados junto a Campos et al. (2003) e informações do 10° DISME (INMET).

A taxa de infiltração a partir do ensaio de infiltrômetro de anéis concêntricos foi obtida quando a velocidade de infiltração assumiu valores constantes, momento em que o teste foi encerrado. A Tabela 6.17 apresenta a capacidade de infiltração para as profundidades 0,1, 0,2 e 0,3 m. Observa-se que, no geral, os poços apresentam tendência de aumento nos valores com o aumento da profundidade. Na profundidade de 0,1 foram indicados os valores mais elevados para a capacidade de infiltração, entre 100 e 373, 25 mm/h. Os locais onde se encontram situados os Poços 2, 4 e 7.1; os valores entre 42 e 68,8 mm/h foram indicados para os solos dos perfis dos Poços 1, 3, 5, 6 e 9, e os menores valores, inferiores a 10 mm/h, indicaram a capacidade de infiltração dos locais onde se encontram inseridos os solos dos perfis dos Poços 8, 9 e 10. Reichardt (1990) considera valores que caracterizam alta capacidade de infiltração os valores superiores a 30 mm/h e muito baixa capacidade de infiltração valores inferiores a 5 mm/h.

Tabela 6.17 – Capacidade de infiltração (mm/h) obtida pelo Infiltrômetro de cilindros concêntricos em agosto-setembro/2010, nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Região norte						
Prof. (m)	Poço 1	Poço 2	Poço 3	Poço 4	Poço 5	Poço 6
0,1	67,55	195,195	86,02	373,25	60,48	68,8
0,2	161,07	195,76	180,45	175,44	70,52	29,99
0,3	239,56	215,44	155,04	398,67	129,73	53,15
Região sul						
Prof. (m)	Poço 7.1	Poço 8	Poço 9	Poço 10		
0,1	105,86	0,52	42,84	9,88		
0,2	120,0	154,08	116,14	29,83		
0,3	226,84	121,28	128,09	29,92		

A justificativa para os valores apresentados para as áreas indicadas com alta capacidade de infiltração pode ser atribuída tanto ao método utilizado, em que a coluna de água tende a superestimar a infiltração, quanto ao histórico de uso e ocupação da área. Especificamente o Poço 2 encontra-se inserido em área com presença expressiva de microfauna (cupins e formigas), do que é possível inferir-se a possibilidade de galerias intervirem no processo de infiltração. Quanto ao poço 4, a alta capacidade de infiltração apresentada pode ser justificada pelo fato de a área não apresentar histórico de ocupação intensiva e, atualmente, encontrar-se em processo de regeneração da cobertura vegetal.

De acordo com os resultados, merece ressalvas o fato de o Poço 8 apresentar, na profundidade de 0,1 m, baixa capacidade de infiltração. Essa baixa capacidade de infiltração indicada para a camada 0,1 m aponta para o selamento dessa camada. O referido poço encontra-se em área

com histórico de trânsito de máquinas para a retirada da cobertura natural e para estacionamento de ônibus escolar. Quanto ao Poço 10, observa-se que, em todas as profundidades, o teste do anel de cilindros concêntricos indicou capacidade de infiltração elevada. Na área em que o referido poço encontra-se inserido, a cobertura do solo é pastagem; contudo, não se têm informações detalhadas do histórico da área quanto a práticas e manejo agrícola.

Os ensaios de rebaixamento de água em furo foram realizados nos meses de abril, julho e agosto-setembro do ano de 2010 conforme a metodologia descrita no Capítulo 3. O furo para o ensaio de poço foi feito próximo ao ponto onde foi realizado o ensaio utilizando a metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos. Os ensaios de abril e julho foram realizados ao longo do mesmo perfil. O poço foi abastecido até a superfície do terreno, gastando em média 10 minutos para o enchimento. Em seguida, iniciaram-se as leituras de rebaixamento do poço. Os ensaios foram realizados no mês agosto-setembro/2010 sem o abastecimento prévio do poço, ou seja, as leituras foram efetuadas imediatamente após a introdução de água no poço.

As Figuras 6.33 (a) e (b) e 6.34 (a) e (b) apresentam os resultados dos ensaios realizados nos meses de abril e julho, considerando as regiões norte e sul de Goiânia. No geral, para cada poço avaliado, observou-se uma variação mais expressiva na taxa de infiltração com a profundidade, principalmente para o comportamento dos perfis situados na região norte. Para esses perfis, observa-se, em comparação com os pontos da região sul, maior variação na taxa de infiltração com a profundidade.

Considerando abril e julho, a variação da taxa de infiltração ao longo da profundidade foi de $3,43 \times 10^{-4}$ a $1,02 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s e $1,04 \times 10^{-2}$ a $2,57 \times 10^{-2}$. Para a região sul, essas variações indicaram valores entre $5,06 \times 10^{-4}$ e $1,44 \times 10^{-4}$ (m^3/m^2)/s e $5,04 \times 10^{-3}$ e $1,56 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. As variações mais expressivas entre os perfis são observadas principalmente em 0,5 m de profundidade, tanto para os perfis da região norte quanto para aqueles situados na região sul.

Os resultados dos ensaios de campo para a região norte, nos poços 1, 2, 3, 4, 5, e 6, apontaram para um comportamento peculiar ao longo do perfil. Na profundidade de 0,5 m, a taxa de infiltração apresenta variações expressivas entre os perfis estudados, entre $1,72 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s e $1,04 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. Em 1 m de profundidade, a variação entre os perfis é menor, entre $5,14 \times 10^{-4}$ (m^3/m^2)/s e $9,92 \times 10^{-4}$ (m^3/m^2)/s. Observa-se, a partir dessa profundidade, tendência

à diminuição nos valores até a profundidade de 2 m, para a partir daí o comportamento da taxa de infiltração indicar aumento. Em 2 m, a variação entre os perfis foi de $5,10 \times 10^{-4}$ e $2,05 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s e, na profundidade de 4 m, entre $1,72 \times 10^{-3}$ e $7,03 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s. Excluídas as particularidades observadas em cada poço, observa-se que o comportamento de infiltração do um perfil apresenta uma taxa de infiltração que aumenta a partir de 2 m profundidade.

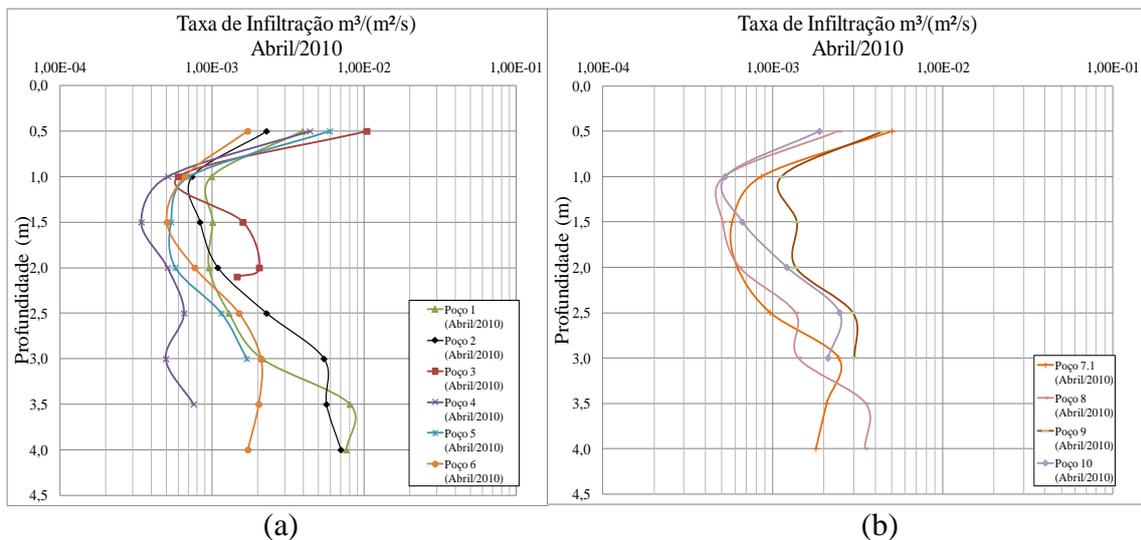


Figura 6.33 – Taxa de infiltração obtida em abril/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

Já para os pontos situados na porção sul, poços 7.1, 8, 9 e 10, foi possível observar que a variação da taxa de infiltração ao longo do perfil, obtidas no mês de abril, apresentou em profundidade comportamento similar ao observado para os perfis da região norte. Observa-se que, ao longo dos perfis, os valores indicados para a taxa de infiltração apontam variações entre $5,24 \times 10^{-4}$ e $3,52 \times 10^{-1}$ (m^3/m^2)/s. A partir de 2,5 m, a variação nos valores da taxa de infiltração em profundidade foi de $9,61 \times 10^{-4}$ a $3,49 \times 10^{-3}$.

Mesmo indicando menor variação em profundidade, os perfis situados na porção sul de Goiânia apresentam variações mais expressivas para o mês de abril até a profundidade de 2,5 m. A partir dessa camada, os valores obtidos apresentaram tendência de elevação conforme a profundidade. Considerando as diferenças entre os perfis, o mês de abril indica, para os perfis estudados e situados na porção sul, que a variação em 0,5 m foi de $1,88 \times 10^{-3}$ a $5,04 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s; em 2 m essa variação foi de $6,37 \times 10^{-3}$ a $1,36 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s, e para a camada de 4 m, variações entre $1,79 \times 10^{-3}$ e $3,52 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s. Do exposto, os perfis situados na região norte, em relação aos perfis situados na região sul, apresentam tendência de maiores valores na taxa de infiltração, tanto entre os perfis em cada profundidade, quanto ao longo da profundidade.

A Figura 6.34 (a) e (b) apresenta os resultados obtidos nos ensaios de infiltração no mês de julho, para as regiões, respectivamente, norte e sul. Para os perfis situados tanto na região norte quanto na região sul, observa-se o aumento nos valores da taxa de infiltração em relação aos valores apresentados no mês de abril. Contudo, é possível observar que o comportamento da taxa de infiltração ao longo do perfil de profundidade se apresenta diferenciado em relação ao mês de abril. A variação da taxa de infiltração ao longo do perfil foi menor; a diferença apresenta valores entre $2,57 \times 10^{-2}$ a $1,02 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s. O comportamento da taxa de infiltração dos poços situados na região norte indica, para julho, na profundidade de 0,5 m, variações entre os perfis entre $1,24 \times 10^{-3}$ e $2,57 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. As diferenças entre as profundidades de 0,5 e 1 m são as mais expressivas ao longo dos perfis, entre $2,57 \times 10^{-2}$ e $1,59 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s.

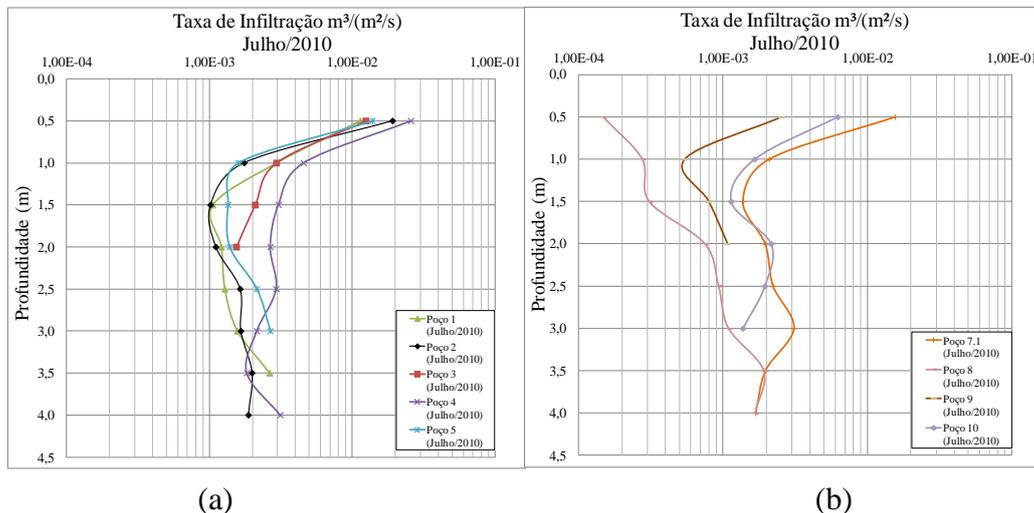


Figura 6.34 – Taxa de infiltração obtida em julho/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

Em julho, os perfis situados na região sul apresentam variações ao longo da profundidade de $1,56 \times 10^{-2}$ a $9,39 \times 10^{-1}$ (m^3/m^2)/s. Comparando os valores obtidos entre os perfis, a profundidade de 0,5 m indicou variações entre $1,49 \times 10^{-4}$ e $1,52 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. Ressalta-se o comportamento mostrado para o perfil do Poço 8, que apresenta valores na taxa de infiltração inferiores aos demais perfis da região sul. Ao longo da profundidade, a variação foi de $1,49 \times 10^{-4}$ a $1,93 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s.

A Figura 6.35 (a) e (b) apresenta os resultados dos ensaios realizados para os poços estudados na porção norte e sul de Goiânia, no período de agosto-setembro/2010. Os Poços 1 e 2 apresentaram, nas profundidades de 3 e 2 m, maior demanda de água para o seu enchimento no início do ensaio. Foi necessário acrescentar água com garrafa pet, pois a vazão da

mangueira ($\varnothing = 0,25$ mm) não foi o suficiente para permitir o completo enchimento do poço até a boca do furo, antes de iniciar as leituras. Observou-se, nesses ensaios, a perda de material na parede do poço, erosão da parede, próximo à superfície durante a fase de rebaixamento no nível d'água.

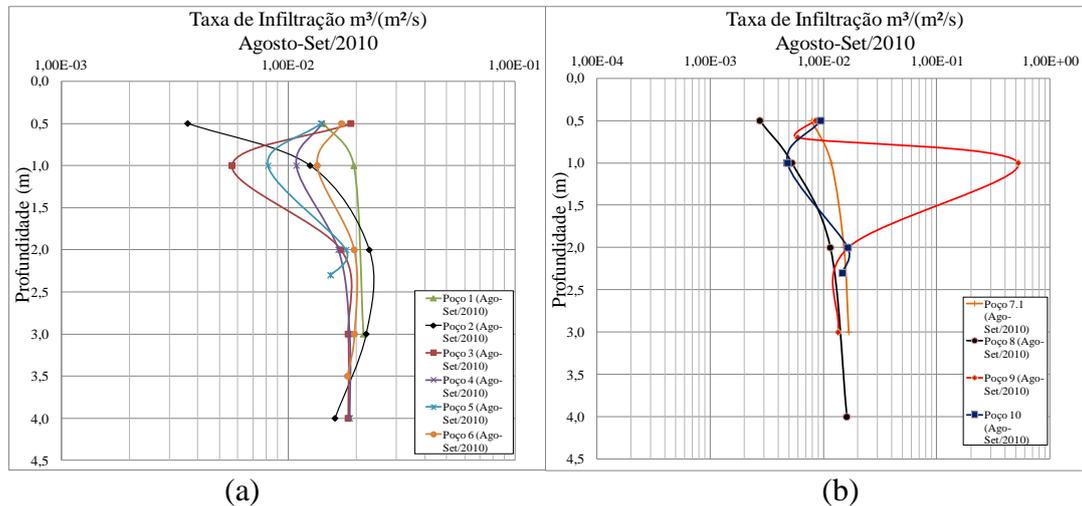


Figura 6.35 – Taxa de infiltração obtida em agosto-setembro/2010: (a) região norte e (b) região sul de Goiânia-GO.

Os ensaios realizados em agosto-setembro/2010 mostram maiores taxas de infiltração para os perfis estudados, em relação aos valores apresentados para os meses de abril e julho. Os resultados indicaram tendência à uniformidade com variações pouco expressivas ao longo do perfil, exceto para os perfis localizados na região norte, na profundidade de 1 m, onde foi observado decréscimo da infiltração e, para o perfil do Poço 9, na profundidade de 1 m, situado na região sul, quando é observado aumento significativo da infiltração.

Considerando os perfis situados na região norte, a infiltração ao longo da profundidade, exceto em 1 m, apresenta variações entre $1,40 \times 10^{-2}$ e $2,28 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. Em 0,5 m de profundidade, exceto para o perfil do 2, os testes indicaram variação na taxa de infiltração, entre os perfis, de $1,40 \times 10^{-2}$ a $1,89 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. Para todos os perfis, 1 m de profundidade apresentou as maiores variações, entre eles, entre $5,66 \times 10^{-3}$ e $1,95 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. A partir de 2 m, a taxa de infiltração apresenta tendência de diminuir, com certo equilíbrio tanto entre os perfis quanto em profundidade. É observado, dessa camada até a profundidade de 3 m, que as variações indicaram valores entre $2,28 \times 10^{-2}$ e $1,61 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s.

Na região sul, desconsiderando 1 m de profundidade do perfil 9, a variação nos valores da taxa de infiltração ao longo de toda a profundidade dos perfis estudados foi de $2,75 \times 10^{-3}$ a

$1,61 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s. O comportamento indicado para a taxa de infiltração para os perfis situados na região não apresentou similaridade com aqueles apresentados para os respectivos perfis nos meses de abril e julho. Observa-se que até a camada 1,5 m o comportamento dos perfis estudados apresentou tendência de decréscimo nos valores da taxa de infiltração. A variação entre os perfis foi pouco expressiva a partir de 2 m. Na profundidade de 0,5 m, as variações entre os perfis ocorreram entre $2,75 \times 10^{-3}$ e $9,48 \times 10^{-3}$ (m^3/m^2)/s e, a partir de 2 m, a variação nos valores da taxa de infiltração foi de $1,61 \times 10^{-2}$ e $1,65 \times 10^{-2}$ (m^3/m^2)/s.

Foi realizada uma simulação alterando o influência do diâmetro do furo (\emptyset) para as informações obtidas durante a realização do ensaio de campo em agosto-setembro/2010, para o do solo do perfil do Poço 1, considerando a profundidade de 0,5 m. O objetivo dessa simulação foi avaliar a influência do diâmetro do poço na obtenção da taxa de infiltração. Observa-se, a partir da Figura 6.36, que o aumento de diâmetro do poço de infiltração, ensaiado sob as mesmas condições, reduz proporcionalmente a taxa de infiltração. Esse fato sugere a necessidade de se ensaiar o poço na escala real ou encontrar uma relação compatível entre poços de pequenos e grandes diâmetros estudados em um mesmo local. Esse fato é observado por Carvalho Leão (2008).

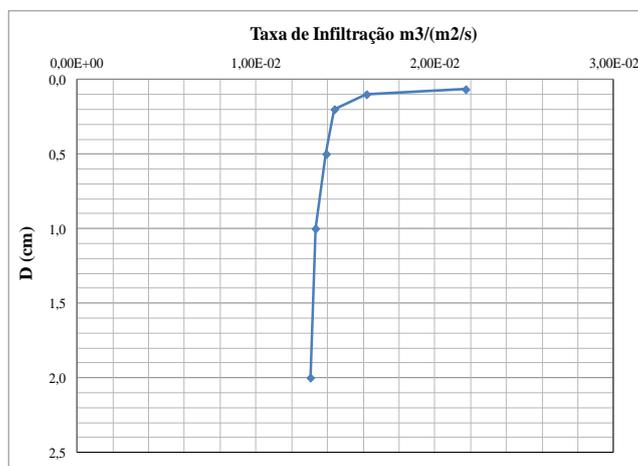


Figura 6.36 – Variação da taxa de infiltração *versus* variação do diâmetro do furo: profundidade de 0,5 m – Poço 1 na região norte de Goiânia-GO.

O fato de as camadas de 0,5 e 1 m apresentarem menores valores na taxa de infiltração para os perfis da região sul de Goiânia, nos ensaios realizados em agosto-setembro, permite inferir-se que esse comportamento está de acordo com o que se propõe para o comportamento dos solos não saturados, conforme Gitirana Jr et al. (2006). Segundo o referido autor, o solo seco apresenta condutividade hidráulica desprezível, e o fluxo de água ocorre por meio do vapor de água; à medida que a sucção diminui, a condutividade hidráulica aumenta. Nesse sentido,

Leão Carvalho (2008) aponta que a ocorrência de ar aprisionado nos poros do solo reduz o teor de umidade no processo de umedecimento, pois o ar presente nos poros tende a criar uma barreira contra a infiltração.

Com base nas informações descritas na seção 6.3.4, a variação de umidade para os perfis estudados no mês de abril situaram entre 14% e 28%; no mês de julho, entre 11% e 25%, e no mês de agosto, entre 3% e 25%. Os intervalos de umidade observada para os respectivos períodos justificam as taxas de infiltração encontrada para os períodos analisados, pois, conforme análise apresentada na subseção 6.5.1, os respectivos intervalos de umidade compreendem os domínios de transição entre os macro e microporos.

Os ensaios realizados em abril ocorreram após o total de precipitação no período, de 675 mm. Nesse período, quando os ensaios foram realizados, haviam ocorrido apenas oito dias consecutivos sem ocorrência de eventos pluviométricos. Quanto aos ensaios realizados em julho, o comportamento dos parâmetros climáticos foram caracterizados por variações da temperatura do ar entre 26 e 32°C, umidade relativa do ar entre 26% e 58%; a velocidade média dos ventos em julho, segundo Campos et al. (2003), foi de 1,4 m/s. Os ensaios realizados em julho foram executadas após 43 dias consecutivos sem eventos pluviométricos.

Conforme descrito no Capítulo 3, a metodologia utilizada nos ensaios realizados no período de agosto-setembro/2010 não contemplou o tempo de 10 minutos destinado a saturação do poço, conforme determinam as normas estabelecidas pela ABGE (1996). Os ensaios executados nesse período ocorreram sob as condições atmosféricas mais severas, temperatura do ar medida em campo entre 23 e 45,3°C, sendo o maior registro (45,3°C) observado no dia 28/08 às 13 horas. A umidade relativa do ar variou entre 10% e 56%, a velocidade dos ventos situou-se em torno de 1,1m/s e, antecedendo aos ensaios, somaram-se 91 dias consecutivos sem chuva. Quanto à temperatura aparente da superfície, nos locais onde foram executados os ensaios, a variação foi de 17 a 35°C. Essas características refletem as condições reais de campo, do que é possível afirmar que os valores obtidos para a taxa de infiltração no período agosto-setembro/2010 apontam para o real comportamento de infiltração, considerando a interface solo-atmosfera.

A Tabela 6.18 mostra as características fisiográficas para as áreas do entorno dos perfis estudados, conforme descritos no Capítulo 5. Nessa tabela, observa-se que os perfis estudados situam-se em áreas de baixas declividades, inferiores a 8%, o que reflete uma tendência

preferencial à infiltração, principalmente o Poço 7.1, pois se situa nas Superfícies Aplainadas dos Chapadões de Goiânia, conforme Casseti (1992). Por outro lado, características geotécnicas dos perfis quanto ao teor de agregação entre 37% e 74%, índice de vazios entre 1,3 e 2,7 e grau de saturação nos períodos úmidos (janeiro e abril) entre 40% e 60% e nos períodos mais secos (julho, agosto e setembro) entre 9% e 15%, podem justificar o comportamento da infiltração para os respectivos perfis, quando se observam as elevadas taxas de infiltração.

Tabela 6.18 –Resumo das características morfométricas, morfológicas e cobertura do solo das áreas no entorno dos poços estudados, nas regiões norte e sul de Goiânia-GO.

Poço	Fisiografia no entorno dos poços (região norte)	Poço	Fisiografia no entorno dos poços (região sul)
1	Fluxo superficial por caminhos curtos (0-65 m). Tendência de infiltração maior que o escoamento (declividades de 0,58%). Possibilidade de material transportado, devido à desaceleração do fluxo ao longo da curvatura côncava no perfil. Amplitude altimétrica até o poço de 92,2 m. Cobertura por pastagem.	7.1	A infiltração é maior que o escoamento superficial no entorno do poço (comprimento de fluxo nulo), declividade de 1,4%. A curvatura do terreno, associada às baixas declividades em rampas extensas, permite inferir-se o potencial da bacia em aumentar o escoamento superficial, principalmente por causa de modificações na cobertura do solo por pastagens cultivadas. Amplitude altimétrica, até o poço de 63,5 m.
2	Fluxo superficial por caminhos longos (196,1-1375,7 m). Possibilidades de acúmulo de material transportado, mas é provável que não ocorra concentração nem aceleração do fluxo, devido aos baixos valores de declividades (4%) próximas ao ponto. Amplitude altimétrica, até o poço é de 55,5 m. Cobertura por pastagens.	8	Fluxo por caminhos curtos (0-73,3 m). Apesar das baixas declividades no entorno do poço, em torno de 1,2%, o escoamento difuso associado a rampas extensas aumenta a velocidade do fluxo, com possibilidade de transporte de material inconsolidado. Amplitude altimétrica, até o poço, é de 65,4 m. Cobertura vegetal rasteira do tipo gramínea invasora.
3	Fluxo superficial por caminhos longos (87,8-280,8 m). Tendência ao aumento da velocidade do escoamento superficial, devido aos caminhos longos associados à curvatura côncava (perfil e plana). Tais aspectos permitem que o material inconsolidado seja acumulado pela desaceleração do fluxo. Amplitude altimétrica, até o poço, é de 73,5 m. Cobertura por pastagens.	9	Fluxo superficial por caminhos curtos (49,3-147,8 m). A declividade no entorno do poço é de 2,9%. É possível inferir-se a possibilidade de presença de material inconsolidado, devido à desaceleração do fluxo superficial por causa da curvatura côncava ao longo das curvas de nível. Amplitude altimétrica, até o poço, é de 103 m. Cobertura vegetal natural.
4	Fluxo por caminhos longos (81,8-256,8 m). É possível inferir-se que a dinâmica de fluxos pode envolver tanto disposição de material inconsolidado quanto infiltração. Amplitude altimétrica, até o poço, é de 104 m. Área de vegetal natural (alterada).	10	Fluxo superficial por caminhos longos (169-326,7 m). A declividade no entorno do poço é de até 2,3%. É possível inferir-se a possibilidade de concentração de fluxo, com maior tendência à ocorrência no entorno de material inconsolidado depositado, pela possível desaceleração do fluxo em longos comprimentos de fluxo na curvatura

			côncava, tanto no perfil quanto no plano. Amplitude altimétrica, até o poço, é de 45 m. Cobertura por pastagem cultivada.
5	Fluxo superficial por caminhos curtos (0 a 72,5 m). A declividade (7,5% e 11,4 %), associada à curvatura do terreno e rampa extensa, indica tendência ao maior escoamento superficial, com possível transporte de material inconsolidado e aumento na velocidade do escoamento de superfície. Amplitude altimétrica, até o poço, é de 120 m. Cobertura por pastagem.		
6	Fluxo superficial por caminhos curtos (0-72,3 m). É possível inferir-se que o escoamento superficial sobrepõe-se à infiltração, com possíveis perdas de material fino e, no local, o escoamento difuso favorece a erosão laminar. A curvatura do terreno, associada à modificação na cobertura do solo, potencializa a velocidade do escoamento superficial no local. Amplitude altimétrica, até o poço, é de 67 m. Cobertura vegetal rasteira do tipo gramínea “invasora”.		

Conforme discutido no Capítulo 4, nos meses setembro e outubro, os eventos pluviométricos que ocorrem em Goiânia apresentam frequência de 84% a 91% dos episódios pluviométricos com intensidade acumulada em 24 horas de 24,9 mm e de 6% a 12% entre 25 e 49 mm. Esse aspecto, associado ao fator tropicalidade das chuvas, à tendência de elevação das temperaturas, à diminuição da umidade relativa do ar e ainda ao comportamento dos solos não saturados, tende a favorecer, no início da estação chuvosa, uma tendência de maior escoamento superficial em detrimento da infiltração, apesar de o solo apresentar poro-pressão negativa.

A variação sazonal da saturação, associada ao elevado nível de índice de vazios dos perfis estudados, permite afirmar que, durante o período seco, quando ocorre aumento nos valores de poro-pressão positiva, os solos estão praticamente preenchidos por ar, água adsorvida e, em virtude das condições estabelecidas na fronteira solo-atmosfera, há também presença da água na forma de vapor (Gitirana Jr. et al., 2006). Essas condições permitem inferir-se que o processo de infiltração, nos meses secos, mesmo com ocorrência de eventos de pluviométricos de intensidade elevada, mas condicionados a curtos espaços de tempo, seja menos expressivo em termos de infiltração.

7 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

7.1 - CONCLUSÕES

As conclusões desta pesquisa podem ser destacadas com referência às características do clima em Goiânia, associadas às propriedades dos solos analisados ao longo dos perfis, como apresentadas a seguir. É relevante considerar a radiação solar nos estudos do comportamento hidromecânico dos solos tropicais, pois o balanço de radiação determina a disponibilidade de energia para os processos de evapotranspiração, aquecimento e resfriamento do solo.

A partir das análises interanual, sazonal e diária das precipitações em Goiânia, foi possível observar a ocorrência de fenômenos cíclicos na distribuição das chuvas, evidenciando sensível irregularidade no regime pluviométrico. Quanto aos resultados obtidos pelos testes de hipóteses, foi possível inferir que a primavera, o outono e o inverno apontaram variações expressivas para a temperatura do ar, para a umidade relativa. Essas variações são observadas pelas tendências positivas nos valores da $T_{máx}$ e da $T_{mín}$ para a primavera, o outono e o inverno, associados à tendência negativa significativa nos valores da umidade relativa do ar e à tendência de diminuição do número de chuvas acima de 40 mm na primavera. Devido a essas variações, é possível considerar que existe forte tendência para a antecipação do período seco no outono e o seu prolongamento durante a estação da primavera, associado a elevadas temperaturas do ar.

Especificamente quanto ao comportamento da pluviometria em Goiânia, os resultados reforçam a necessidade de melhoria nos sistemas de previsão, dada a sua imprevisibilidade, para atender de forma mais eficiente demandas de políticas públicas voltadas ao planejamento da ocupação do solo. Os resultados do teste de hipóteses apontam para a importância da análise espacial, integrando dados de estações meteorológicas de diferentes pontos da cidade, principalmente na análise da precipitação, por causa das intensas modificações da cobertura do solo, como é o caso da Região Metropolitana de Goiânia.

Considerando as análises realizadas da temperatura aparente da superfície, observa-se que, para Goiânia, a condição sinótica, associada à declinação do sol e aos fatores topoclimáticos e microclimáticos, influencia a variação espacial e temporal no campo termodinâmico das superfícies do terreno, como a sua disposição segundo a orientação das vertentes e a cobertura

do solo. As temperaturas mais elevadas ocorrem nas vertentes orientadas para norte, nordeste, noroeste e leste, as quais estão associadas principalmente à cobertura do solo por pastagem e o solo exposto. As datas analisadas, 12/07 e 29/08/2010, indicam as áreas periurbanas como sendo mais aquecidas que aquelas mais densamente ocupadas (sítio urbano), principalmente no norte e no oeste do Município de Goiânia, evidenciando o papel do solo exposto e das áreas de pastagem na elevação da temperatura aparente da superfície.

A análise de regressão linear indicou correlações entre temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$). Também indicou correlação para dados da temperatura relativa aparente, em relação à temperatura da superfície, conforme as distintas elevações do terreno. Essas correlações indicam possibilidade de previsão da temperatura do ar junto à superfície, a partir de observações das temperaturas da superfície radiativa.

Quanto às propriedades dos solos estudados, as análises químicas indicaram que os solos são ácidos, com baixos teores de alumínio, sugerindo a condição de solos altamente lixiviados. Foram observados, principalmente até a camada de 2 m, valores negativos de ΔpH , concomitantemente a valores mais elevados de capacidade de troca catiônica. Esse aspecto permite inferir para os solos, até a camada de 2 m, o predomínio dos argilominerais. Os valores negativos de ΔpH até 2 m podem ser associados a uma possível deposição do solo, advindo do transporte desde a montante.

Considerando a influência da litologia, nas regiões norte e sul observa-se, a partir das quantidades expressivas de óxidos e hidróxidos de Al e Fe, um estágio avançado de evolução dos solos. Ocorrem ainda minerais resistentes ao intemperismo, como o quartzo. As análises dos difratogramas dos perfis situados na região norte de Goiânia refletem a complexidade litológica que envolve as rochas do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu. A presença da hematita, da ilmenita, da magnetita e da goethita pode ser explicada pela influência dos granulitos, principalmente dos ortogranulíticos, que contêm minerais primários ricos em ferro. Por outro lado, a ocorrência dos granulitos bandados e paraderivados pode ainda justificar a intensidade dos picos de quartzo.

Os ensaios de granulometria mostraram para os solos dos perfis situados na região norte de Goiânia, quando submetidos à ação do defloculante, aumento nos valores médios de argila, entre 38% e 53%, decréscimo nos valores médios dos teores de areia média, entre 15% e 34 %, e de areia fina, entre 18% e 22 %. Para os solos dos perfis situados na região sul, a

análise apontou acréscimo nos valores da fração argila entre 17% e 50%, diminuição nos valores médios da fração equivalente à areia média, entre 13% e 27%, e para a fração areia fina, decréscimo entre 11% e 24%.

Quanto à proporção da fração silte nos solos analisados, tanto para os perfis de solos localizados na região norte quanto para os localizados na região sul, as variações nos valores foram pouco expressivas, para as duas condições de ensaio. O fato de a fração silte sem defloculante ser praticamente mantida no ensaio com defloculante aponta para a consideração de que a agregação presente nos solos relaciona-se à fração areia.

Os solos analisados apresentaram teor de areia grossa insignificante, e o aumento do teor de argila com o uso de defloculante é semelhante ao somatório da redução dos teores de areia fina e média, quando usado o mesmo agente. Considera-se a possibilidade de a fração silte se desagregar em argila, de a fração areia desagregar-se em silte mais argila e de os agregados de argila encontrarem-se no estado natural, compondo a fração areia. Esta observação indica, nos mantos de intemperismo analisados, solos com características bimodais de distribuição de poros, compostos por micro e macroporos. Considerando as variações ao longo do perfil, para camada de 1 m dos perfis da região sul, foi observado menor teor de agregação, indicando maior fragilidade dos agregados para essa profundidade.

A caracterização das propriedades físicas (γ_n), (γ_d) e (γ_s) indicaram variações mais expressivas entre os perfis e ao longo da profundidade, principalmente para os perfis situados na região norte. As variações mais expressivas ao longo do perfil coincidem com as camadas onde foram encontrados fragmentos de rocha, do que é possível inferir dificuldade de conferir maior precisão ao peso específico natural e, conseqüentemente, ao seco.

Quanto ao peso específico dos sólidos (γ_s), a variação é mais significativa entre os perfis. As variações podem ter relação com a litologia, principalmente em relação às variações dos perfis situados na região norte, onde a presença expressiva de hematita ($\gamma_s=49 \text{ kN/m}^3$) e goethita ($\gamma_s=43 \text{ kN/m}^3$), devido à influência dos ortogranulitos, associa-se à maior presença de ferro na região. Tal aspecto também foi observado em campo por meio de análise tátil-visual. A obtenção do peso específico natural do solo (γ_n) a partir do método não convencional não apresentou resultados satisfatórios, pois, em condições de umidade abaixo do w_p e acima do w_L , o desempenho do trado inviabilizou a estimativa dos volumes. Por outro lado, acrescenta-se o fato de que o processo de cravação do trado altera a estrutura do solo.

Quanto à classificação dos solos analisados a partir de ensaios segundo as metodologias convencionais e segundo metodologias desenvolvidas para os solos tropicais, observou-se que ela reflete o comportamento do solo. No caso do comportamento expresso pela carta de plasticidade, os solos foram classificados como siltosos e, conforme classificação MCT, como argilosos e arenosos, de comportamento laterítico. Esses aspectos podem ser correlacionados à granulometria do solo em estado natural, ou seja, às frações silte e argila, obtidas sem o uso de defloculante, pois a agregação da argila pode explicar seu comportamento como areia, nos ensaios de limites de consistência. Os valores encontrados de I_p , com variações entre 3 e 9 cmol_c/kg de argila, correspondentes à argila de baixa atividade, encontram-se em conformidade os difratogramas de raios X, quando apontam predomínio da caulinita.

As variações sazonais da umidade do solo mais expressivas foram observadas para a camada de 1 m, com perdas de 11% e 14% entre janeiro e agosto-setembro/2010. Já o grau de saturação correspondente à análise sazonal, durante o ano de 2010, apresentou em janeiro variações da umidade entre 40% e 70%, em abril entre 14% e 20% e em julho e agosto/setembro entre 11 e 15%.

Considerando a relação entre as perdas de umidade, a forma do relevo e a cobertura do solo, as variações da umidade entre camadas de mesma profundidade indicam que os perfis com as perdas de umidade mais expressivas encontram-se inseridos na vertente cuja orientação é NE e NW, com declividades inferiores a 4%. Quanto à cobertura do solo, os perfis que apresentaram as maiores perdas de umidade estão associados à pastagem.

Ao se considerar a influência dos atributos morfológicos, da cobertura do solo e da temperatura aparente da superfície, pode-se inferir que a temperatura aparente das superfícies voltadas para o quadrante norte, associadas à cobertura do solo por pastagem, pode justificar as maiores perdas de umidade encontradas entre o período de janeiro e agosto/setembro, até a camada de 3 m.

Observou-se, ainda, que as declividades da superfície nas áreas correspondentes aos perfis de solos estudados, no geral, são inferiores a 5%, favorecendo, assim, o fluxo descendente em meio não saturado, durante a estação chuvosa. Alternativamente, durante o período seco, sob essas mesmas condições, o fluxo ascendente é favorecido. O ciclo de umedecimento e secagem estabelecido sazonalmente pode, assim, responder pelas variações das propriedades geotécnicas observadas até aproximadamente 2 m de profundidade.

Quanto aos processos de evaporação, Goiânia apresenta forte sazonalidade, com tendência ao prolongamento do período seco no decorrer do ano, associada às elevadas temperaturas e aos baixos índices de umidade relativa do ar, além da elevada temperatura aparente de superfície durante o período mais seco (julho, agosto e setembro). Esses elementos em conjunto estabelecem condição de demanda de umidade na atmosfera, o que favorece os processos de evaporação.

Quanto à determinação da curva característica para os solos estudados, no domínio dos macroporos, quando as umidades são superiores a 25%, as variações tendem a afetar pouco a sucção dos solos ensaiados. Para valores de umidade entre 15% e 25%, intervalo compreendido entre domínio dos macroporos e microporos, percebe-se que pequenas variações de umidade correspondem a grandes variações na sucção. As variações nos valores de sucção correspondentes ao fim do domínio dos macroporos e início do domínio dos microporos, bem como as diferenças nas inclinações das curvas características, nos dois domínios, apontam para diferenças estruturais entre as amostras dos três poços analisados.

Ao se considerar, nos meses de agosto-setembro/2010, a variação de umidade ao longo dos perfis de solos do Poço 1, entre 8% e 22%, do Poço 6 entre 7% e 25%, e do Poço 8 entre 13% e 20%, acredita-se que o gradiente de sucção seja elevado. Assim, o perfil do Poço 8 encontra-se praticamente no domínio dos microporos, pois o teor de umidade é inferior a 15% para todas as profundidades. Ao contrário, nos poços 1 e 6, a variação de umidade faz com que o comportamento dos solos não esteja restrito ao domínio dos microporos, pois, em algumas profundidades, o comportamento corresponde à transição dos domínios. No período chuvoso, o gradiente de sucção não é tão elevado ao longo do perfil, pois a variação de umidade no mês de janeiro correspondeu ao domínio dos macroporos. No Poço 1, a umidade ficou entre 25% e 29%; no Poço 6, entre 24% e 29%, e no Poço 8, entre 23% e 29%. Ao final do período chuvoso, em abril, o gradiente de sucção em geral é bastante elevado ao longo do perfil. A variação de umidade para esse mês correspondeu, assim, à transição dos domínios, uma vez que, no Poço 1, a umidade ficou entre 19% e 27%; no Poço 6, entre 20% e 25%, e no Poço 8, entre 20% e 24%.

As características fisiográficas das áreas estudadas refletem tendência preferencial à infiltração. Por outro lado, as características geotécnicas dos perfis quanto ao teor de agregação, entre 37% e 74% , ao índice de vazios entre 1,3 e 2,7 e ao grau de saturação nos períodos úmidos (janeiro e abril) entre 40% e 60% e, nos períodos mais secos (julho, agosto e

setembro), variando entre 9% e 15%, justificam o comportamento sazonal da infiltração para os perfis estudados.

Os ensaios de infiltração realizados em agosto-setembro, nas profundidades de 0,1, 0,2 e 0,3 m, indicaram variações principalmente entre 60 e 200 mm/h, e os maiores valores ocorreram para os pontos situados sobre as rochas granulíticas. Ressalta-se que, no método utilizado, a coluna de água tende a superestimar a infiltração. Os resultados apontaram para a importância da análise integrada dos condicionantes ambientais associados à cobertura do solo, da atividade da microfauna e da fase de regeneração da cobertura vegetal natural à análise da capacidade de infiltração em superfície.

As taxas de infiltração em perfil apresentaram variações mais expressivas entre os perfis e em profundidade durante os testes executados, principalmente nos meses de abril e julho. Em agosto-setembro, essas variações apresentaram comportamento em que as diferenças são menores. Para as profundidades de 0,5 a 2,5 m, em abril, a tendência é de decréscimo na taxa de infiltração; em julho, esse comportamento é evidenciado entre 0,5 e 1,5 m e, em agosto-setembro/2010, o decréscimo ocorre entre 0,5 e 1 m. O comportamento em profundidade dos perfis de solos estudados evidencia a influência da variação da umidade sazonal da zona ativa do perfil, podendo ser observada até a profundidade de 4 m, conforme demonstram as variações apresentadas para o solo do perfil do Poço 4. Para os perfis de solos localizados sobre as rochas granulíticas, as variações foram mais expressivas do que aqueles situados sobre as rochas xistosas.

A simulação realizada alterando o diâmetro do furo (\emptyset) aponta para a importância de realizar ensaios de infiltração contemplando a escala real do projeto de drenagem a ser implantado.

7.2 - SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

As sugestões para pesquisas futuras podem ser direcionadas às características climáticas de Goiânia e investigações que permitam entender melhor a relação solo e clima. Em relação às características climáticas, é relevante o desenvolvimento de pesquisas que envolvam informações da variação da radiação solar e aspectos morfológicos do terreno nos estudos do comportamento hidromecânico dos solos tropicais, pois o balanço de radiação associado aos aspectos morfológicos determinam a disponibilidade de energia para os processos de evapotranspiração, aquecimento e resfriamento do solo.

As pesquisas futuras deverão identificar os sistemas produtores de eventos pluviométricos na região de Goiânia, principalmente aqueles relacionados à configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e aos eventos extremos. Também deverão verticalizar esforços à compreensão da variação da umidade e precipitação mediante ocorrência dos eventos ENOS, principalmente no período outono-inverno. Além dos eventos pluviométricos, são importantes, em tempos de intensificação dos estudos de variabilidade e mudanças climáticas, pesquisas que permitam compreender melhor a variabilidade dos parâmetros climáticos, mediante modificação do solo, e as variações das temperaturas máximas e mínimas e, conseqüentemente, variações da umidade relativa do ar, principalmente quando se considera a forte sazonalidade da umidade, discutida no Capítulo 4, de Goiânia.

Quanto à compreensão da relação solo e clima, é importante estudo que permita elaboração de modelos do regime pluviométrico e as análises das características específicas de solos tropicais, de forma a analisar a influência da variação da sucção no fluxo de superfície, nas primeiras chuvas. Nesse aspecto, ressaltam-se as características climáticas predominantes em Goiânia, marcadas por forte sazonalidade e com tendências a variações no comportamento dos atributos precipitação, temperatura e umidade relativa do ar, conforme discutidos no Capítulo 4. Especificamente em relação aos eventos pluviométricos, são importantes, no futuro, investigações que estabeleçam a relação das intensidades das chuvas *versus* taxa de infiltração, com base no efeito de sucção do solo, de forma a compreender melhor os processos tanto de infiltração quanto de escoamento superficial, em uma região marcada por forte sazonalidade da umidade, elevadas temperaturas e baixos valores de umidade relativa do ar, além de superfícies destituídas de cobertura vegetal natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE (1996). Ensaio de Permeabilidade em Solos – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. -Orientação para sua Execução no Campo, Boletim IV, 3ª Ed, São Paulo, SP, 31p.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984a.
- ABNT_____. NBR 6457: Solo – Determinação do teor de umidade do solo. Rio de Janeiro, 1986a.
- ABNT_____. NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984c.
- ABNT_____. NBR 7185: Solo – Determinação do peso específico do solo. Rio de Janeiro, 1986b.
- ABNT_____. NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984d.
- ABNT_____. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984b.
- ABNT_____. NBR – 10838. Solo - Determinação do peso específico do solo. Rio de Janeiro, 1988.
- ASTM D-5298 (1992). Standard test method for measurement of soil potential (Suction) using filter paper. Annual Book of ASTM Standards, vol. 15.09, 1312-1316.
- ALVES, F.S.M.; FISCH, G.; VENDRAME, I.F. (1999). Modificações do microclima e regime hidrológico devido ao desmatamento na Amazônia: estudo de um caso em Rondônia (RO), Brasil. ACT AMAZÔNICA 29(3): 395-409.
- ALMEIDA, A.S.; SANTOS, R.L.; CHAVES, J.M. (2011). Mapeamento de uso e ocupação do solo no Município de Jeremoabo-Ba: Uso do Algoritmo Máxima Verossimilhança (Maxver). Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, PR, 30 de abril, 2011, INPE., p.7255-7262
- AMORIN, M.C.C.T. (2000). Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. Geosul, Florianópolis, Santa Catarina, 20 (nº39): 65-82.
- AMORIN, M.C.C.T. (2005). Ilhas de Calor em Birigui/SP. Revista Brasileira de Climatologia, vol.1, nº 1. Dezembro, 2005. pp. 121-130.
- ANUÁRIO DO OBSERVATÓRIO NACIONAL (2010). Observatório Nacional. Ministério da Ciência e Tecnologia. Disponível em <<http://www.on.br/conteudo>>. Acesso: 3 de março 2010.
- ARMANI, G. (2009). Análise Topo e Microclimática Tridimensional em uma Microbacia Hidrográfica de Clima Tropical Úmido de Altitude. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, SP, 149 p.
- ASTM (1992). D – 5298. Standard test method for measurement of soil potential (suction) using filter paper. Vol 15.09, pp.1312-1316.
- AYOADE, J.O.(1991). Introdução à Climatologia para os Trópicos. 3ª ed. Rio de Janeiro:Bertrand do Brasil, 332 p.
- AZEVEDO, P.V., RAMOS LEITÃO, M.M.V.B., SOUSA, I.F., MACIEL, G.F. (1990). Balanço de radiação sobre culturas irrigadas no semi-árido do nordeste do Brasil. Revista de

Meteorologia, 5(1): 403-410.

BACK, A.J. (2001). Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 36(5): 717-726.

BALBINO, L.C.; BRUAND, A.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; QUENTIN, P.; GRIMALDI, M. (2004). Change in the hydraulic properties of a Brazilian clay Ferralsol on clearing for pasture. Geoderma, v.120, pp. 297-307.

BALDO, M.C. (2006). Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí Pr. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Paulista, UNESP, Campus Presidente Prudente. 172 p.

BARRAUD, S.(2009) . Guide Technique: Recommandations Pour La Faisabilite, La Conception et la gestion des Ouvrages D'Infiltration des Eaux Pluviales en Milieu Urbain, Programa MGD Infiltration, INSA de Lyon, França. 62 p.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; SANTOS, G.F.; PASSOS, E.; SUGUIO, K. (1994). Estrutura e origem das pesquisas tropicais e subtropicais. Ed.UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 389 p.

BIRKELAND, P.W. (1984). Soils and geomorphology. New York: Oxford University Press, 1984. 430 p.

BLAIN, G. (2010). Séries anuais de temperatura máxima média do ar no estado de São Paulo: variações e tendências climáticas. Revista Brasileira de Meteorologia, 25(1): 114-124.

BLAIN, G. C; PICOLI, M.C.A; LULU, J. (2009). Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 68(3): 807-815.

BUENO, B.S.(1979). Mecânica dos solos. São Carlos: Departamento de Geotecnia, EESC/USP, v. 1, 132 p., 1979.

BOIN, M. N (2000). Chuvas e Erosão no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada. Tese de Doutorado, IGCE, UNESP, Rio Claro, 264 p.

BONDER, B.H., MIGUEL, M.G. (2007) Variação da sucção matricial em campo de parte da camada superficial de solo laterítico de Campinas/SP, por meio de tensiômetros. VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Salvador, BA. Anais CD-ROM, 253-260.

BORGHETTI, A.; LACERDA, W.A.; LOPES, F.R. (2007). Modelagem física da água da chuva em talude arenoso. VI Modelagem física da água da chuva em talude arenos. VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Salvador-Bahia, Salvador, BA, pp. 443-450.

BRANDÃO, V.S.; Cecílio, R.A.; Pruski, F.F. e Silva, D.D. (2006). Infiltração da água no solo. Viçosa: Editora Universidade Federal de Viçosa, 3ª edição, 120 p.

BRANDÃO, A.M.P.M.(1996). O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 364 p.

BRITO, L.F., SOUZA, Z.M.; MONTANARI, R.; MARQUES JUNIOR, J.; CAZETTA, A.D., CALZAVARA, S.A., OLIVEIRA, L. (2006). Influência de formas do relevo em atributos físicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar. Ciência Rural, 36(6): 1749-1755.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; MORTARI, D., FÁZIO, J.A.; MOTTA, N.O.; FRANCISCO APOLINÁRIO, R. (2006). Processos erosivos. Processos erosivos na

região Centro-Oeste, Camapum de Carvalho; Sales, M. M.; Souza, N.M.; Melo, M.T.S. (orgs). Universidade de Brasília: FINATEC, Brasília,DF, pp. 40-91.

CAMPOS, A.B., LUIZ, G., MACEDO, R. A.R., PEIXOTO, V.M.R. (2002). Análise do comportamento espacial e temporal das temperaturas e pluviosidades no Estado de Goiás. Abordagens geográficas de Goiás: o natural e o social na contemporaneidade Almeida, M.G. (orgs.). IESA/UFG: Goiânia, pp. 91-118.

CAMPOS, J.E.G.; RODRIGUES, A.P., ALMEIDA, L.; MAGALHÃES, L.F., MARANHÃO SÁ, M.A. (2003). Diagnóstico Hidrogeológico da Região de Goiânia. AGIM/GO. Superintendência de Geologia e Mineração da Secretaria da Indústria e Comércio, Goiânia,GO, 125 p.

CAPUTO, H.P.(1975). Mecânica dos Solos e suas Aplicações. 3ª ed., ivros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, RJ, 241 p.

CARDOSO, F.B.F. (2002). Propriedades e Comportamento Mecânico de Solos do Planalto Central Brasileiro. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 001A/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 357 p.

CARRINO, T.A.; SOUZA FILHO, C.R. (2007). Utilização de imagens multiespectrais termais do sensor ASTER para mapeamento remoto de prováveis áreas com feições de impacto em crateras africanas. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, pp. 1999-20062.

CASSETI, V. (1986). Modelos estimativos de perdas geradas por efeitos pluvioerosivos. Boletim Goiano de Geografia. 4/6 (1-2):55-62.

CASSETI, V. (1991). Ambiente e Apropriação do Relevo. Contexto, São Paulo, SP, 1991, 147 p.

CASSETI, V. (1992). Geomorfologia do município de Goiânia-GO. Boletim Goiano de Geografia, 12(1): 65-85.

CASSETI, V. (1993). Os Ventos em Goiânia/GO. Revista Brasileira de Geofísica, 11(2): 215-224.

CLARKE, J.F., PETERSON, J.T. (1973). An empirical model using eigenverctors to calculate the temporal and spatial variations of the St. Louis Heat Island. Journal of Applied Meteorology, 12:195-210.

COMDATA – Cia. De processamento de dados do município de Goiânia (2006). SIGGO - Sistema de Informações Geográficas de Goiânia, v.5, para Windows 2003/2007/NT, Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia. (MUBDG) Versão 21. Prefeitura de Goiânia.

COMPANHIA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DO MUNICÍPIO DE GOIÂNIA (COMDATA) (2006). MUBDG – Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia. CD-ROM Profissional Versão 20 – Parte integrante do SIGGO V20. Prefeitura de Goiânia.

CONTI, J.B. (1975). Circulação orográfica e efeito orográfico na gênese das chuvas na região lesnordeste paulista. São Paulo, Série Teses e Monografias, IGEOG-USP, 18: 82 p.

COSTA, J.B. (1973). Caracterização e Constituição do Solo. 4ª ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 527 p.

DANNI, I.M. (1980). A ilha térmica de Porto Alegre - contribuições ao estudo do clima urbano. Boletim Gaúcho de Geografia, (8): 33-48.

DE ROO, A.P.J.; RIEZEBOS, H.Th. (1992). Infiltration experiments on loess soils and their implicaztions for modelling surface runoff and soil erosion. *Catena*, 19(2): 221-239.

DBO ENGENHARIA LTDA (2004). Reurbanização dos Vales do Macambira e Anicuns: estudo de impacto ambiental – EIA / DBO Engenharia Ltda. Prefeitura de Goiânia, Goiânia, 2004.

DEPARTAMENTO DE SENSORIAMENTO REMOTO/INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (2003). Tratamento de dados de satélites. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao estudo ambiental, 132 p.

DINIZ, F. A. (2004). O clima de Brasília. Palestra apresentada na semana Meteorológica – INMET, Brasília, 24 de março. Arquivo disquete, Power Point.

DINIZ, N.C. (2005). Evaluation geológico-geotecnica de suelos tropicales para ordenamiento territorial. *Água, Minería y Medio Ambient*, Libro Hamenaje al Professor Rafael Fernández Rubio, J.A. López-Geta, A Bosch, J.C. Baquero Úbeda, Instituto Geológico Y Minero de Espanã, Madrid, pp.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA (1997). Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA (1998). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

ES VAN, H.M. (1993). Evaluation of temporal, spatial, and tillage-induced variability for parameterization of soil infiltration. *Geoderma*, 60(1-4): 187-199.

EVANGELISTA, B.A.(2004). Aplicações geoestatísticas na análise espacial da precipitação pluviométrica no Estado de Goiás e Distrito Federal. Dissertação de Mestrado, ICH/UnB, Brasília, 112 p.

FARIA, J.C. (2000). Modelagem da propensão à densificação do solo em resposta aos ciclos de umedecimento e secagem. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 78 p.

FEURHARMEL, C; Pereira, A.; BICA, A. V. D.; GEHLING, W. Y. Y.; VIVIAN, J. B. (2007). Desenvolvimento de um permeâmetro flexível de parede flexível para determinação da condutividade hidráulica de solos não saturados. VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Salvado-Bahia,2007, CD ROM, pp. 459-466.

FISCH, G., LEAN, J., WRIGHT, I.V., NOBRE, C.A. (1997). Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região Amazônica: estudo de caso em Rondônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 12(1): 33-48.

FITZ, P.R. (2008). Cartografia básica. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 144 p.

Fechine, J.A.L.; Galvíncio, J.D. (2010). Aplicação do teste de Mann Kendall na análise de tendências climáticas – bacia hidrográfica do rio Brigída – Estado de Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 16, 2010, Belém. Anais ... São José dos Campos: INPE, 2010.

FLERCHINGER, G.N.; PIERSON, F.B. (1999). Modelling plnat conopy effects on variability of soil temperature and water: model calibration an validation. *Journal of Arid Environments*, 35(4): 641-653.

FONZAR, B. C. (1997). Mudanças climáticas na cidade de Goiânia. In: Boletim Climatológico. FCT/UNESP, Presidente Prudente, São Paulo, 2(3): 247-250.

FOOKES, P.G. (1997) Tropical residual soils. Geological Society Professional Handbooks, London, 184 p.

FREDLUND, D.G., RAHARDJO, H. (1993). Soil mechanics for unsaturated soils. J. Wiley, New York, USA, 517 p.

FREDLUND, D.G.; SATTLER, P.J.; GAN, J.K.M. (1992). INSITU Suction Measurements Using Thermal Sensors. 7TH International Conference on Expansive Soils. Dallas, Texas (USA), 3(5):1-6.

FREDLUND, D.G.; SHUAI, F.; FENG, M. (2000). Increased accuracy in suction measurement using an improved thermal conductivity sensor. Tailing and Mine Waste '00, Forts Collins, Colorado, USA, pp. 443-450.

FREDLUND, G.D.; FREDLUND, D.G. (1997). Proceedings of the 50th Canadian Geotechnical Conference, Ottawa, Canada, pp. 20-22.

FURLAN, D.N., BALLESTER, M.V.R., ANDRANDE, R.G. (2011). Estimativa dos valores de saldo de radiação e fluxo de calor no solo em diferentes condições antrópicas na bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, Curitiba, PR, pp. 6301-6308.

VALENCIA GONZÁLEZ (2009). Influência da biomineralização nas propriedades físico – mecânicas de um perfil de solo tropical afetado por processos erosivos. DF. 2009. Tese de Doutorado, Publicação G.TD – 059/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 183 p.

GAIDZINKI, R. (2006). Fatores envolvidos no sazonalidade de argilas e suas aplicações nas propriedades de argila para a Indústria Cerâmica. Rio de Janeiro, 2006, 179 p. Tese de Doutorado. (COPPE/UFRJ, Engenharia Metalúrgica e de materiais, 2006). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. 2006.

GANDU, A. W.; SILVA DIAS, P. L. (1994). Simulação numérica dos efeitos locais da convecção de verão sobre a América do Sul. Anais do VIII Cong. Brasileiro de Meteorologia, 2: 481-484.

GEIGER, R. (1990). Manual de Microclimatologia: o clima da camada de ar junto ao solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 2. ed. Lisboa, 556 p.

GITIRANA JR, G.F.N. (2005). Weather-Related Geo-Hazard Assessment Model for Railway Embankment Stability. Thesis Doctor. Department and Geological Engineering. University of Saskatchewan. Saskatoon, Saskatchewan, Canadá, 411 p.

GRIMMOND, C.S.B. (1992). The suburban energy balance methodological considerations and results for a mid-latitude west coast city under winter and spring conditions. International Journal of Climatology, 12(5): 481-497.

GUSSO, A.; FONTANA, D.C.; GONÇALVES, G.A. (2007). Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com uso de sensor AVHRR/NOAA. Pesq.agropecuária, Brasília, 42(2): 231-237.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. ELSEVIER, Journal of Hydrology, USA, pp. 182-196.

HIPE, K.W.; MACLEOD, A.I. (2005). Time Series Modelling of Water Resources and

Environmental Systems. Electronic reprint of our book originally published in 1994.
<http://www.stats.uwo.ca/faculty/aim/1994Book/>.

HIRSCH, R.M.; SLACK, J.R.; SMITH, R.A. (1982). Techniques for trend assessment for monthly water quality data, *Water Resources Research*, 18: 107-121.

HOUGHTON, J.T., MEIRA FILHO, L.C., CALLANDER, B. A., HARRIS, N., KATTERBERG, A., MASKELL, K. (1996). *Climate change, 1995: the science of climate change: contribution of working group I to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, England, 584 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (1999). *Saneamento básico e problemas ambientais em Goiânia–1992*. IBGE: Divisão de Geociências do Centro Oeste, Rio de Janeiro: IBGE, 80 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2011). *IBGE, Sinopse do Censo Demográfico, 2010*. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso: 25 de novembro 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE.(1995). *Manual Técnico de Geomorfologia. Série Manuais Técnicos em Geociências, Número 5. 1ª edição* IBGE: Rio de Janeiro, 175 p.

IMAMURA-BORNSTEIN, I.R. (1991). *Observation studies of urban heat island characteristics in different climate zones*. University of Tsukuba. PhD Thesis, Institute of Geoscience of University of Tsukuba, Japan, 156 p.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (1999). *Manual de Observações Meteorológicas*. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO Brasília, 3ª ed., 1999, pp. 36-62.

KRISHNAKUMAR, K.N.; GOPAKUMAR, C.S.; PRASADA RAO, G.S.L.H.V. (2009). *Rainfall trends in twentieth century over Kerala, India*. ELSEVIER, *Atmospheric Environment*, 43(11): 1940-1944.

LAMBE, T.W.; WHITMAN, R.V (1969). *Soil Mechanics, S. I. Version*. John Wiley & Sons, New York, USA, 553 p.

LANDSBERG, Helmut (1981). *The Urban Heat Island. The Urban Climate*. Landsberg, H.E. *Internacional Geophysics Series*, v.2, New York, pp: 94-126.

LEÃO CARVALHO, E. T. (2008). *Avaliação de Elementos de Infiltração de Águas Pluviais na Zona Norte da Cidade de Goiânia*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, (GECON/UFG - Área de concentração Geotecnia). Goiânia. 229 p.

LEIJ, F.J., SCIORTINO, A., HAVERKAMP, R., UGALDE, J.M.S. (2007). *Aggregation of vertical flow in the vadose zone with aquifer-related hydraulic properties*. *Journal of Hydrology* 338: 96-112.

LIMA, M.C. (2003). *Degradação Físico-Química e Mineralógica de Maciços Junto às Voçorocas*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD - 017A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 336 p.

LOMBARDO, M. (1985) *Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo*. Hucitec, São Paulo, SP, 244 p.

- LOPES, L.M.; ROMÃO, P.A. (2006). Guia de excursões Centro-Oeste: Geomorfologia urbana da região metropolitana de Goiânia., VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, UFG/IESA, Goiânia, Goiás, pp. 31-58.
- LOPES, P.M.O.; RIZZI, R.; VALERIANO, D.M. (2007). Modelagem da emissividade da superfície terrestre em regiões montanhosas a partir de dados do sensor Modis. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, pp. 2797-2804.
- LOUGON-DUARTE, A.P.; CAMPOS, T.M.P.; ARARUNA, J.T.(2004). Efeitos da temperatura na relação umidade-sucção de dois solos. 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. São Carlos/SP, pp. 235-242.
- LUIZ, G.C.; NASCIMENTO, D.T.F.; QUEIROZ, B.A.; SILVA, T.A.; CARVALHO, A.P.S. (2006). Levantamento do comportamento da temperatura e umidade relativa do ar: uma experiência didática-pedagógica no ensino da climatologia-Goiânia-GO/2005. Anais do VII Simposio Brasileiro de climatología Geográfica. Rondonópolis-MT. 20 de agosto, 2006, Fundação Universidade Federal do Mato Grossom, CD Room. 2006.
- LIMA, M. C.; SOUZA, N. M.; CAMAPUM de CARVALHO, J.; SANTOS, P. M. Jr. (2002). Obtenção da curva granulométrica utilizando o granulômetro a laser. In: XII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, 2002. São Paulo, SP, Anais..., v.1, p. 457-465.
- MACHADO, S.L.; PRESA, E.P. (2008). Tendências atuais da Mecânica dos Solos Não Saturados no Brasil – Ecos do NSAT2007. XV COBRANSEG, Gramado-RS, pp.231-250.
- MARENCO, J.A.; ALVES, L.M.(2005). Tendências Hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, 20(2): 215-226.
- MARIN, F.R.; ASSAD, E.D.; PILAU, F.G. (2008). Introdução à climatologia para ciências ambientais. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 126 p.
- MARINHO, F.A.M. (1995). A técnica do Papel Filtro para Medição da Sucção. Anais do Encontro de Solos não Saturados. Porto Alegre, RS., pp. 112-125.
- MARJERISON, B.L. (2001). Measurement of matric suction in thin membrane surface highways using Thermal Conductivity Sensor. Degree of Master of Science, Faculty of Graduate Studies and Research, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canadá, 218 p.
- MARTÍNEZ-CARVAJAL, M.E., CAMAPUM, J.C., FERNÁNDES, G. (2005). Influência da desagregação nos limites de Atterberg. II Simpósio sobre Solos Tropicais e Processos Erosivos no Centro-Oeste, Goiânia, Goiás, pp161-167.
- MEIS, M.R.M.; COELHO NETTO, A.L.; OLIVEIRA, P.T.T.M. (1981). Ritmo e variabilidade das precipitações no vale do Rio Paraíba do Sul: o caso de Resende. Rev. Bras. Hidrol. Rec. Hídricos, 3:43-56.
- MELLO, L.P.; FERREIRA, F.P.; AZEVEDO, A.C.; WAPPLER, D.; GIRELLI, D.; KANIESKI, A.J. (2005). Exposição solar e propriedades do solo em Santa Maria-RS. Revista Bras. Agrociência, Pelotas, v. 11, n. 3, p. 377-381, 2005.
- MENDONÇA, F. (1995). O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno: proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. Tese (Doutorado) Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 322 p.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. (2007). Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 206 p.

- MENDONÇA, F. A. (2004). O Clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno. Proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina/PR. Tese de Doutorado, FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 300 p.
- MENDONÇA, F.A. (2009). Urban heat and urban cool island: influences of vegetation and soil surface in cities. 7th International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan, pp.65-89.
- MINUZZI, R.B.; VIANELLO R. L.; SEDIYAMA, G.C. (2010). Oscilações climáticas em Minas Gerais. Revista Brasileira de Meteorologia, 25(2): 227-236.
- MOLION, L.C.B. (1987). Climatologia dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. Revista Brasileira de Meteorologia, 2: 107-117.
- MOLION, L.C. (2006). Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico Sul. Revista Climanálise, 3: p.1-9.
- MOTA, F.S.; FERREIRA, M.D.; PEJON, O.J. (2007). Análise das relações entre absorção de água e condutividade hidráulica dos solos em estudos de erosão. VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Salvo-Bahia,2007.
- MONTEIRO, C.A.F. (1951). Notas para o estudo do clima do Centro-Oeste Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia, pp.22-45.
- MONTEIRO, C.A.F. (1962). Da necessidade de um caráter genético à classificação climática. Revista Geográfica, Rio de Janeiro, 31(57): 29-44.
- MONTEIRO, C.A.F.(1961). Da Necessidade de um Caráter Genético à Classificação Climática: algumas considerações metodológicas a propósito do estudo do Brasil Meridional. Revista Geográfica, 57, Instituto Pan-Americano de Geografia e História,
- MONTEIRO, C.A.F. (1968). O clima da região Sul. GEOGRAFIA DO BRASIL : GRANDE REGIÃO SUL. Rio de Janeiro: IBGE, pp. 66-116.
- MONTEIRO, C.A.F. (1969). O clima da região Sul. GEOGRAFIA DO BRASIL : GRANDE REGIÃO SUL. Rio de Janeiro: IBGE, pp. 66-116.
- MONTEIRO, C.A. de F. (1971). Análise rítmica em climatologia. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo. 1971.
- MONTEIRO, C.A.F. (1973). A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo. São Paulo. Fapesp/USP/Igeog, 129 p.
- MONTEIRO, C.A.F. (1976). Teoria e Clima Urbano. Série Teses e Monografias. Universidade de São Paulo: USP/Igeog, 25: 181 p.
- MONTEIRO, C.A.F. (1990). A cidade como processo derivador ambiental e estrutura geradora de um clima urbano. Revista Geosul, Florianópolis, 5(9): 80-114.
- MONTEIRO, M.A.; FURTADO, S.M. (1995). O clima do trecho Florianópolis – Porto Alegre: uma abordagem dinâmica. GEOSUL, Florianópolis, n. 19/20, p. 117-133, 1995.
- MONTEIRO, C.A.F. (2000). A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo. Rio Claro, 2000. 2^a edição, versão 1,0 (CD-Rom).
- MORÃES NOVO, E. M. L de M. (1998). Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 306 p.
- MORETTINI, P.A., TOLÓI, C.M.C. (2006). Análise de Séries Temporais.2.ed. Edgard Blucher, São Paulo, SP,. 544 p.

- NASCIMENTO, D. T. F. (2011). Emprego de Técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento na Análise Multitemporal do Fenômeno de Ilhas de Calor no Município de Goiânia - GO (1986/2010). Dissertação de Mestrado, Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, UFG, Goiânia, GO, 98 p.
- NIMER, E. (1989). A circulação atmosférica e as condições de tempo como fundamento para a compreensão do clima. Geografia do Brasil: Região Centro-Oeste. IBGE, Rio de Janeiro, Brasil v. 1, pp. 23-34.
- NIMER, E.; BRANDÃO, A.M. (1989). Balanço Hídrico e Clima da Região dos Cerrados. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/IBGE. Rio de Janeiro, 1989, 166 p.
- NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. (1994). Identificação expedita dos grupos da Classificação MCT para solos tropicais. X COBRAMSEF, Foz do Iguaçu. Anais ... ABMS, São Paulo, (4): 1293-1300.
- NOGUEIRA, J.F. (2005). Análise da influência do fluxo por capilaridade na degradação físico-química do solo. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM. 137/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 108p.
- OKE, T.R. (1978). Boundary layer climate. Methuen & CO., London, England, 372 p.
- OLIVEIRA, C.A.S.; SILVA, C.L. (2005). Quantificação do processo de entrada de água (infiltração), através da superfície do solo saturada, usando um cilindro Infiltrômetro. FAV/UnB. 2 p.
- OLIVEIRA, D. R.(2003). Análise da interação solo-atmosfera durante a secagem para a argila porosa de Brasília. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-110/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 168 p.
- OLIVEIRA, D.R.; GITIRANA JR., G.F.N.; PEREIRA, J.H.F. (2004). Influência das propriedades hidráulicas na evaporação de solos colapsíveis não saturados. 5º Simpósio de Solos Não Saturados. São Carlos/SP, pp.161-167.
- OLIVEIRA, O.M.; MARINHO, F.A. (2007) Estudos de Barreiras Capilares por Meio de Simulação de Chuva em Coluna de Solo.VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados, Salvador, Bahia, pp.291-297.
- PADILLA, J.D.M., PERERA, Y.Y.; FREDLUND, D.G. (2004). Performance of Fredlund thermal conductivity sensor. Proceedings of the 11th Tailings and Mine Waste Conference, Vail, Colorado, USA, pp.125-133.
- PALMIERE, F., LARACH, J.O.I. (1996). Pedologia e Geomorfologia. Geomorfologia e Meio Ambiente, GUERRA, A.J.T., CUNHA, S.B. (orgs.), Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 59-89.
- PÉDELABORDE, P.(1970). Introduction a l'étude scientifique du clima. SEDES, Paris, 246 p.
- POUSADA, M.C.; PRESA, E.P.(2007). Utilização do sensor de umidade TDR para determinação de curvas características de sucção em laboratório e no campo. In: VI Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados.Anais / CD Rom. Salvador-Bahia.pp.307-311.
- Pinto, J.E.S.S.; Aguiar Netto, A.O. (2008). Clima, geografia e agrometeorologia: uma abordagem interdisciplinar. São Cristóvão: Editora Universidade Federal de Sergipe, Aracaju: Fundação Oviêdo Teixeira, 2008. 222 p.
- QUADRO, M. F.L. (1994). Estudo de Episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. Dissertação de Mestrado, INPE (Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais), São José dos Campos, SP, 97 p.

RAHARDJO, H. & LEONG, E.C. (2006). Suction measurement. Keynote, Unsat, ASCE Geotechnical Special Publication, 147 (1): 81-104.

REICHARDT, K.(1990). A água em sistemas agrícolas. Ed.Manole Ltda, São Paulo, 171 p.

RESENDE, M., CURI, N., KER, J.C., REZENDE, S.B. (2005). Mineralogia de Solos Brasileiros: interpretações e aplicações. UFLA, Lavras, MG, 187 p.

RIBEIRO, M.N.G., SANTOS, A.(1975). Observações microclimáticas no ecossistema Campina Amazônica. ACTA AMAZÔNICA 5(2): 183-189.

RIZZO, J.A; PEIXOTO, A.B.P. (1973). Plano de coleção da flora do município de Goiânia. SEPARATA: Goiânia Med., 19: 37-61.

RODRIGUES, J.M.; RODRIGUES, R.A.; JUSTINO, F.B.; COSTA, L.C.; AMORIN, M.C. (2010). Efeitos locais e de larga escala na dinâmica climática do município de Viçosa-Minas Gerais. Sociedade & Natureza, Uberlândia 22(3): 593-610.

RODRIGUES, R.A.; SANTOS, R.S. (2007). Estudo de tendência climática na série temporal de precipitação pluviométrica em Araguari (MG). Revista Geográfica Acadêmica, 1 (1): 20-27.

ROMÃO, P.A., SOUZA, N.M. (2007). Compartimento do terreno com base na entropia do e relevo – modelagem da Região de Goiânia - GO. 6º Simpósio de Cartografia Geoambiental, UFU, Uberlândia, pp.488-501.

ROMÃO, P.A.; SOUZA, N.M. (2006). Caracterização Ambiental. Processos erosivos na região Centro-Oeste, Camapum de Carvalho; Sales, M. M.; Souza, N.M.; Melo, M.T.S. (orgs). Universidade de Brasília: FINATEC, Brasília,DF, pp. 157-188.

ROSENO, J.L.; CAMAPUM DE CARVALHO, J. (2007). Avaliação granulométrica de um perfil de solo tropical usando o granulômetro a laser. III Simpósio sobre solos tropicais e processos erosivos no Centro-Oeste, 2007. Cuiabá, MT, Anais ..., p. 137-147.

SANT'ANNA NETO, J.L. (1990). Ritmo climático e a gênese das chuvas na zona costeira paulista. Dissertação de Mestrado, FFLCH/USP, São Paulo, 156 p.

SANT'ANNA NETO, J.L. (1995). As chuvas no Estado de São Paulo: contribuição ao estudo da variabilidade e tendência da pluviosidade na perspectiva da análise geográfica. S. Paulo, Tese (doutorado), FFLCH-USP, 252 p.

SANT'ANNA NETO, J.L.; GARDIM, P. (1996). Instrumentos e aparelhos. In: Boletim Climatológico. Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT). Universidade Estadual de São Paulo (UNESP). Presidente Prudente, São Paulo, março de 1996, ano 01, n. 01. p.:12-39.

SILINGOSCHI JÚNIOR, E. (2006). Análise da temperatura em função das características da cobertura do solo e condições de entorno em Londrina, Paraná. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Londrina. Departamento em Engenharia de Edificações e Saneamento. 108p. 2006.

SANT'ANNA NETO, J.L. (1998). Clima e organização do espaço. Boletim de Geografia. Maringá, n. 16(1): 119-131.

SANT'ANNA NETO, J.L. (2001). Por uma Geografia do Clima – antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. Terra Livre, Paradigmas da Geografia, São Paulo, 17(2): 49-62.

SANTOS, P. S. (1975). Tecnologia de argilas, aplicadas às argilas brasileiras. São Paulo: Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 340 p.

SANTOS NETO, L.A.; ATAÍDE, K.R.P.; ASSUNÇÃO, E.C.P.; SANTOS, J.G.M. (2002). Estudo da variabilidade diária da temperatura do ar e no perfil do solo em Caxiaunã, para períodos úmido e seco. Anais, XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, pp. 2442-2445.

SERRA, A; RATISBONNA, L. (1942). As massas de ar da América do Sul. Revista Geográfica, Rio de Janeiro, Instituto Pan-Americano de Geografia e História, 32 p.

SETTE, D. M. (1996). O Clima Urbano de Rondonópolis – MT. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 114 p..

SILVA, R. C. (2010). Investigação de jazidas de solos tropicais para uso em pavimentação na região metropolitana de Goiânia – GO. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, (GECON/UFG - Área de concentração Geotecnia). Goiânia. 177 p.

SILVA, A.M. (2005). Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 125 p.

SILVA, C.B.; SANT'ANNA NETO, J.A.; TOMMASELLI, J.T.G.; PASSOS, M.M. (2006). Dinâmica atmosférica e análise geoestatística do clima da área de integração paisagística “Raia Divisória” SP/PR/MS: uma proposta de tipologia climática. Revista Brasileira de climatologia, 2: 53-70.

SILVA, R.A.; SILVA, V.P.R.; CAVALCANTI, E.P.; SANTOS, D.N. (2010). Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira Eng. Agric. Ambiental, 14(5): 501-510.

SILVA, W.F.; SANTOS, R.S.(2007). Estimativa da Temperatura da superfície do solo de uma região semi-árida a partir do IRMSS (banda 4) do CBERS-2. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, pp. 1159-1116.

SILVEIRA, A.L.; LOUZADA, J.A.; BELTRAME, L.F.(2004). Infiltração e armazenamento no solo. Hidrologia: ciência e aplicação TUCCI, C.E.M (Org.). 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.pp.

SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; CAMARGO, M.B.O. (2008). Variabilidade espacial do armazenamento e perda diária de água pelo solo no sistema de semeadura direta em Campinas, SP. Brangantia, Campinas, v. 67, n.1, p. 213-223. 2008.

SIRTOLI, A. E.; SILVEIRA, T ; MANTOVANI, C.T.; OKA-FIORI, C. (2008). Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com o solo. Scientia Agrária, 9(3): 317-329.

SOBRINO, J.A.; CASELLES, V.; COLL, C. (1993). Theoretical split-window algorithms for determining the actual surface temperature. Il Nuovo Cimento C, (16): 219-236.

SORRE, M. (1951). Les fondements de la géographie humaine. Primeiro tomo: Les fondements biologiques (Essai d'une écologie de l'homme). 3ª ed., Paris, Armand Colin, 32 p.

SOUZA PINTO, C. (2000). Curso Básico de Mecânica dos Solos. São Paulo: Oficina de textos, 247 p.

- SOUZA, M. A. L.de. (2005). Influência de índices pluviométricos na umidade de solos tropicais como indicador da sucção aplicado à fundações. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-136/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília,DF, 213 p.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MONTANARI, R. (2006). Otimização amostral de atributos de lassolos considerando aspectos solo-relevo. *Ciência Rural*, Santa Maria, .36(3): 829-836..
- STEINKE, E.T. (2004). Considerações sobre Variabilidade e Mudança Climática no Distrito Federal, suas Repercussões nos Recursos Hídricos e Informação ao Grande Público. Tese de Doutorado, Instituto de Biologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 192 p.
- STRAHLER, A.N. (1957). Quantitative Analysis of Watersehd Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6):913:920.
- STRUDLEY, M.W.; GREEN, T.R.; ASCOUGH, J.C. (2008). Tillage effects on soil hydraulic properties in space and time: State of the science. *Sciense Direct, Soil and Tillage Research*, 99(1): 4-48.
- TARIFA, J. R.; ARMANI, G. (2000). Unidades climáticas urbanas na cidade de São Paulo, 1ª aproximação. Relatório preliminar do projeto Atlas Ambiental do Município de São Paulo. São Paulo: PMSP/SUMA, 74 p.
- TARIFA, J.R. (1975). Fluxos Polares e as Chuvas de Primavera-Verão no Estado de São Paulo (uma análise quantitativa do processo genético). Instituto de Geografia: IGEOG Séries teses e monografias. Universidade de São Paulo. São Paulo, 19: 17-82.
- TARIFA, J.R. (2002): Os climas nos maciços litorâneos da Juréia-Itatins – um ensaio de ritmanálise. FFLCH /USP, São Paulo, 10 p.
- TEREFE, T.; MARISCAL-SANCHO, I.; PEREGRINA, F.; ESPEJO, R. (2008). Influence of heating on various properties of six Mediterranean soils. A laboratory study. *Geoderma*, 143, pp. 273-280.
- TOLEDO, M.C.M; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W., et al. (Org). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos. 2000. Cap.8, p.139-165.
- TUCCI, C.E.M. (2002). Regionalização de vazões. Ed.Unviversidade:UFRGS,2002, 256 p.
- TUBELS, A.; NASCIMENTO, F.J.Ç. (1992). *Meteorologia Descritiva*. 7ª impressão. São Paulo: Nober, 374 p.
- UBALDO, M. O.; BORNA, L.D.; BARBOSA, M.C. (2006). Gestão de resíduos sólidos geradores de drenagem ácida de minas com o uso de coberturas secas. CETEM/MCT, Série Gestã Ambiental, n.4, 34 p.
- VARGAS, M. (1977). Introdução à mecânica dos solos. São Pauo. Mcgraw do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1977. 507p.
- VIANELLO, R,L; ALVES, A.R. (1991). *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1991. 449p.
- VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do Estado de Minas Gerais. *Revista Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.12, n.138, p.6-8, 1986.
- VIDAL, A.; PERRIER, A. (1992). Analysis of a simplified relation for estimating daily evapotranspiration from satellite thermal IR data. *International Journal of Remote Sensing*,

10(1): 1.327-1.337.

VILANI M.T.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J.S.; PRIANTE FILHO, N. (2006). Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição amazônica cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(3b): 331-343.

VILLAGRA, M.M.; MICHIELS, P.; HARTMANN, R.; BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K. (1994). Field determined variation of the unsaturated hydraulic conductivity functions using simplified analysis of internal drainage experiments. *Scientia Agricola*, 51(1): 113-122.

VIRJI, H., (1981). A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from clouds winds. *Mon. Wea. Rev.*, 109: 599-610.

WENG, Q.; DENGSHENG, L. and SCHBRING, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island. *Remote Sensing of*

WILSON, G. W. (1990). *Soil Evaporative Fluxes for Geotechnical Engineering Problems*. Tese de Doutorado. Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan. Saskatoon, Canada. 1990. 464 p.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. (1984). Classificação de anos secos e chuvosos na região nordeste do Brasil e sua distribuição espacial. III Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte, MG, 3(3): 267-275.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S.; DIAS, M.A.F.S. (1994). Evolução da precipitação diária num ambiente urbano: o caso da cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 9(10): 44-53.

XAVIER, A.F.S.; XAVIER, T.M. B.S.; DIAS, M.A.F.S.; TOLEDO, J.R.C. (1996). Qualidade dos dados diários de chuva no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 1(2):71-87.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. (1999). Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 14(2): 63-78.

XAVIER, T. M. B.S. (2001). *Tempo de Chuva – Estudos Climáticos e de Previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional*, ABC Editora, Fortaleza-Ceará, 478 pp

XAVIER, T.M.B.S.; SILVA, J. F; REBELLO, E. R. G. (2002). *A Técnica dos Quantis – e suas aplicações em Meteorologia, Climatologia e Hidrologia, com ênfase nas regiões brasileiras*, Thesaurus Ed., Brasília, 141 pp

ZAMPARONI, C.A.G. P. (1995). *Ilha de Calor em Barra do Bugres e Tangará da Serra: uma contribuição ao estudo de clima urbano em cidades de pequeno porte em área tropical*. 99p. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 99 p.

ZAVATTINI, J.A. (1990). A dinâmica e a distribuição das chuvas no Mato Grosso do Sul. Tese. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 273 p.