

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO**

**DIVERSIDADE GEOAMBIENTAL E POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO NA BACIA  
DO CÓRREGO SÃO PEDRO, EM UBERLÂNDIA - MG**

**ANA CLARA MENDES CAIXETA**  
**UBERLÂNDIA/MG**

**2017**

**ANA CLARA MENDES CAIXETA**

**DIVERSIDADE GEOAMBIENTAL E POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO NA BACIA  
DO CÓRREGO SÃO PEDRO, EM UBERLÂNDIA - MG**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de doutor em Geografia.

**Área de Concentração: Geografia e Gestão do Território. Linha de pesquisa: Análise, Planejamento e Gestão Ambiental.**

**Orientador: Prof. Dr. Vanderlei de Oliveira Ferreira**

Uberlândia/MG

**INSTITUTO DE GEOGRAFIA**

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

C138d Caixeta, Ana Clara Mendes, 1987-  
2017 Diversidade geoambiental e potencial de infiltração na bacia do  
córrego São Pedro, em Uberlândia – MG / Ana Clara Mendes Caixeta. -  
2017.  
207 f. : il.

Orientador: Vanderlei de Oliveira Ferreira.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa  
de Pós-Graduação em Geografia.  
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Córrego São Pedro - Inundações - Teses. 3.  
Infiltração - Teses. 4. Planejamento urbano - Aspectos ambientais -  
Uberlândia (MG) - Teses. I. Ferreira, Vanderlei de Oliveira. II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Geografia. III. Título.

---

CDU: 910.1

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
Programa de Pós-Graduação em Geografia

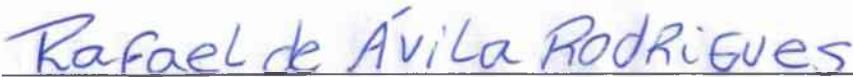
ANA CLARA MENDES CAIXETA

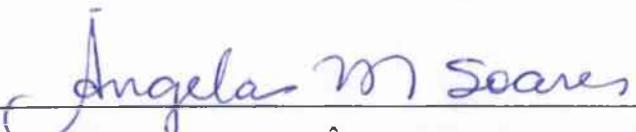
“DIVERSIDADE GEOAMBIENTAL E POTENCIAL DE INFILTRAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO SÃO PEDRO, EM UBERLÂNDIA/MG”.

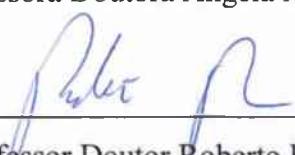
---

Prof. Doutor Vanderlei de Oliveira Ferreira (Orientador) - UFU

  
Professor Doutor Fabrício Anibal Corradini – UFTM

  
Professor Doutor Rafael de Ávila Rodrigues – UFG - GO

  
Professora Doutora Ângela Maria Soares – UFU

  
Professor Doutor Roberto Rosa – UFU

Data: 26/06 de 2017

Resultado: Approved

*À Deus, à minha família, ao meu esposo e aos meus amigos pelo carinho, apoio e principalmente incentivo.*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, pela força para perseverar nos momentos difíceis da vida.

Agradeço ao Professor Luiz Nishiyama pelo norteamento e filtragem no direcionamento da tese tanto nos ensaios de campo quanto nos ensaios de laboratório, também pela paciência com as minhas dificuldades, com o a complexidade dos dados e a escrita.

Agradeço ao meu orientador, Vanderlei de Oliveira Ferreira pelo apoio.

À Professora Ângela pelas sugestões ao longo do tempo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Rogério da Elglobal Construtora pelos dados de sondagem fornecidos.

Ao Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia – UFU pelos dados pluviométricos e pluviográficos fornecidos.

Ao Professor Sílvio Carlos Rodrigues e ao Laboratório de Geomorfologia e Erosão dos Solos – Instituto de Geografia – UFU pela disponibilidade de material, principalmente pela carta de Munsell.

À Equipe do Museu de Minerais e Rochas da Universidade Federal de Uberlândia, que me deram suporte para a concretização deste trabalho.

Ao Laboratório de Geotecnica da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, que forneceram o apoio necessário à realização dos ensaios de laboratório principalmente os de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade.

À Universidade Federal de Uberlândia e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia pelo o apoio e oportunidade para à realização da pesquisa

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) pelo apoio em conceder um horário flexível para a conclusão deste trabalho. A todos aqueles que me deram suporte para a concretização deste trabalho, em especial aos professores e técnicos do CeGeo e do ICT da UFVJM.

A Evelyn Sanchez, pela colaboração no final deste trabalho na formação.

Aos meus pais, Vilmar e Maria Inês pelo incentivo e apoio em todos os momentos. A minha família que sempre me apoiou Ao meu irmão, Davi, que sempre rezou para que tudo desse certo, mesmo longe me apoiando.

Ao meu esposo, Víctor Augusto, pela compreensão, paciência, companheirismo, pelas contribuições e auxílio na execução deste trabalho. Além disso, agradeço-o por ceder o nosso carro como veículo de campo para retirada das amostras e ensaios *“in situ”*.

Aos amigos, que compreenderam minha ausência em diversos momentos e contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho. Em especial a casal Mário Júnior e Camila que deram suporte para a concretização deste trabalho.

A todos o meu muito obrigada.

## Resumo

A ocorrência de episódios de inundação em áreas urbanas é um dos principais problemas socioambientais encontrados pelos gestores públicos. Com o crescimento das cidades e a necessidade de aumento de infraestrutura, serviços e as limitações do meio físico gerou-se uma necessidade de um planejamento territorial adequado. A cidade de Uberlândia acompanhou este crescimento das cidades e consequentemente tem estes problemas socioambientais. Diante disto, este trabalho tem o objetivo de realizar uma caracterização geoambiental da bacia do córrego São Pedro a partir dos atributos e propriedades do meio físico com vista a utilização do solo como um meio de infiltração das águas pluviais. Juntamente com este objetivo possibilitou-se a identificação dos fatores naturais e antrópicos, assim como a representação das características do meio físico, a partir de seus atributos em documentos cartográficos. E por fim, foi possível apresentar um conjunto de informações geoambientais e de uso e ocupação que possam contribuir para o plano diretor da drenagem urbana na Bacia do Córrego São Pedro. Para atingir estes objetivos utilizou-se a metodologia de mapeamento geotécnico e geoambiental. Este é o mapeamento analítico gerando documentos que foram elaborados e analisados individualmente. Este estudo foi baseado nos materiais inconsolidados e nos ensaios do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ). Estes são compreendidos como um processo de investigação e avaliação quali-quantitativo das características do meio físico pelo estudo de seus atributos e sua representação em mapas. Ao realizar ensaios de permeabilidade *in situ* com o permeâmetro Guelph na área da bacia do córrego São Pedro, obtiveram-se valores de  $k$  variando entre as ordens de grandeza de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s. O mapa de adequabilidade de infiltração apresentou ser não adequado ou pouco adequado ao potencial de infiltração nas áreas próximas aos canais e na foz do Córrego São Pedro no Rio Uberabinha. Além disso, na região próxima a nascente do Córrego São Pedro é relativamente adequada e moderada a infiltração, contribuindo para a formação de inundações no canal. Já, o centro da Bacia apresentou áreas muito adequadas à infiltração. Na região entre os Córregos Jataí e Lagoinha próximo ao divisor de águas é uma área muito adequada à infiltração. Outra área de desta é entre os Córregos Lagoinha e Mogi, que não possui uma densa urbanização apresentou nos mapas geoambientais áreas significativas muito favoráveis e favoráveis à infiltração. Estas áreas são apropriadas a implantação de medidas estruturais. Assim, de posse destes mapas geoambientais espera-se contribuir para o planejamento territorial.

**Palavras Chaves:** Inundação; infiltração; geoambiental

## Abstract

The occurrence of flood episodes in urban areas is one of the main socio-environmental problems encountered by public managers. With the growth of cities and the need to increase infrastructure, services and the limitations of the physical environment, a need for adequate territorial planning has arisen. The city of Uberlândia has followed this growth of the cities and consequently has these socioenvironmental problems. In view of this, this work has the objective of performing a geoenvironmental characterization of the São Pedro stream basin from the attributes and properties of the physical environment in order to use the soil as a means of infiltrating the rainwater. Together with this objective, it was possible to identify the natural and anthropic factors, as well as the representation of the characteristics of the physical medium, from its attributes in cartographic documents. Finally, it was possible to present a set of geoenvironmental information and of use and occupation that could contribute to the master plan of urban drainage in the basin of São Pedro stream. To achieve these objectives, the methodology of geotechnical and geoenvironmental mapping was used. This is the analytical mapping generating documents that have been elaborated and analyzed individually. This study was based on the inconsolidated materials and the permeability coefficient (k) tests. These are understood as a process of investigation and qualitative-quantitative evaluation of the characteristics of the physical environment by the study of its attributes and its representation in maps. When performing in situ permeability tests with the Guelph permeameter in the area of the São Pedro stream basin, values of k varying between orders of magnitude of  $10^{-4}$  to  $10^{-5}$  cm / s were obtained. The infiltration suitability map was not adequate or a little adequate to the infiltration potential in the areas near the channels and at the mouth of the São Pedro Stream in the Uberabinha River. In addition, in the region near the source of São Pedro stream is relatively adequate and moderate infiltration, contributing to the formation of floods in the channel. Already, the center of the Basin presented areas very suitable for infiltration. In the region between the Jataí and Lagoinha streams near the watershed is an area very suitable for infiltration. Another area of this is between the Lagoinha and Mogi stream, which does not have a dense urbanization presented in the geoenvironmental maps significant areas very favorable and favorable to infiltration. These areas are appropriate for the implementation of structural measures. Thus, the possession of these geoenvironmental maps is expected to contribute to territorial planning.

**Keywords:** Flood; infiltration; Geo-environmental

## Lista de Figuras

Figura 1 – Localização da Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG .....	25
Figura 2 – Avenida Rondon Pacheco – 2016.....	26
Figura 3 – Coluna estratigráfica do Município de Uberlândia - MG .....	28
Figura 4 – Ocorrências diárias de precipitações máximas acumuladas no intervalo de um mês, por um período 32 anos (1981 – 2013) em Uberlândia/MG.....	29
Figura 5 – Histórico de precipitação de um período de 16 anos (1996 – 2012) na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG .....	30
Figura 6 – Crescimento populacional do Município de Uberlândia .....	32
Figura 7 – Importância regional de Uberlândia em 1950.....	33
Figura 8 – Complexo Parque do Sabiá .....	35
Figura 9 – Uma das nascentes do Córrego Jataí.....	36
Figura 10 – Represa do Parque do Sabiá.....	36
Figura 11 – Entrada do Parque Municipal Santa Luzia .....	37
Figura 12 – Área de vereda ao longo do Córrego Lagoinha, no Parque Santa Luzia .....	37
Figura 13 – Voçoroca na nascente do Córrego Lagoinha .....	37
Figura 14 – Área da nascente do Córrego Lagoinha .....	37
Figura 15 – Reportagem da primeira etapa da Rondon Pacheco relacionada ao desenvolvimento de Uberlândia .....	38
Figura 16 – Obra de canalização do Córrego São Pedro – 1982.....	39
Figura 17 – Seção da galeria sob a Avenida Rondon Pacheco em 2011 .....	39
Figura 18 – Avenida Rondon Pacheco com uma chuva de 2012.....	40
Figura 19 – Avenida Rondon Pacheco inundada em 2013 .....	40
Figura 20 – Avenida Rondon Pacheco com uma chuva no dia 12 de março 2016.....	40
Figura 21 – Curva Altura, duração e frequência.....	42
Figura 22 – Classificação das chuvas de acordo com o grau de intensidade dos episódios. ....	43
Figura 23 – Fatores de formação do solo .....	46
Figura 24 – Porcentagem do comportamento hidrológico com o crescimento urbano.....	47
Figura 25 – Leito do canal. (a) Vertente com topografia natural. (b) Vertente edificada. (c) Área de ocupação do leito maior do rio. (d) Área de ocupação da planície de inundação. ....	48
Figura 26 – Ciclo Hidrológico com ênfase no processo de infiltração de água no solo .....	55
Figura 27 – Curvas de capacidades e taxas de infiltração.....	57
Figura 28 – Condutividade hidráulica, sucção e textura .....	58

Figura 29 – Ordem de grandeza de condutividade hidráulica, em cm/s, para vários tipos de materiais (FETTER, 1988).....	58
Figura 30 – Componentes do solo e arranjo espacial das partículas que controlam o tempo de viagem da água no solo: .....	59
Figura 31 – Curva de retenção da água no solo .....	61
Figura 32 – Curva de retenção e textura .....	61
Figura 33 – Quantidade mínima de pontos a ser considerada na elaboração de mapeamentos geotécnicos .....	66
Figura 34 – Locais de amostragem na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG ....	68
Figura 35 – Trado manual .....	69
Figura 36 – Perfurador de solo .....	69
Figura 37 – Massa específica dos sólidos .....	71
Figura 38 – Granulometria do solo .....	71
Figura 39 – Limite de liquidez; .....	72
Figura 40 – Limite de plasticidade .....	72
Figura 41 – Gráfico empregado para a inserção da curva granulométrica, onde podem ser observadas o número das peneiras (parte superior) e diâmetro dos grãos (parte inferior).....	73
Figura 42 – Exemplo de gráfico para a obtenção do Limite de liquidez (LL) .....	73
Figura 43 – Carta de Plasticidade.....	76
Figura 44 – Esquema do Sistema Unificado .....	77
Figura 45 – Ferramenta ArcGIS10® 10.2.2 para interpolação dos dados de solo de acordo com a classificação granulométrica.....	78
Figura 46 – Ferramenta ArcGIS10® 10.2.2 para reclassificação dos dados de solo .....	79
Figura 47 – Pontos do ensaio do Permeâmetro Guelph. ....	80
Figura 48 – Bulbo saturado e não saturado ao redor do furo de sondagem durante o ensaio a carga constante. ....	81
Figura 49 – Trado (esquerda) e Permeâmetro Guelph (direta) .....	82
Figura 50 – Exemplo da Planilha apresentando o tempo acumulado de leituras (min) e as leituras na graduação do reservatório do permeâmetro de Guelph (cm).....	83
Figura 51 – Ferramenta <i>ArcGIS10® 10.2.2</i> para reclassificação dos dados de permeabilidade .....	85
Figura 52 – Mapas de Porcentagem de Argila (a) e declividade em graus (b) .....	86
Figura 53 – Mapas de substrato rochoso (a) e dos soma dos valores de argila e permeabilidade para a profundidade de 10 cm (b).....	87

Figura 54 – Mapas de substrato rochoso (a) e soma dos valores de argila e permeabilidade para a profundidade de 40 cm (b).....	88
Figura 55 – Curvas base para mapa hipsometrico.....	88
Figura 56 – Ferramenta ArcGIS10® com as propriedades do layer TIN .....	89
Figura 57 – Ferramenta ArcGIS10® para reclassificação dos valores equivalentes .....	90
Figura 58 – Mapas de Porcentagem de Argila (a) e permeabilidade para a profundidade de 10 cm (b) utilizando álgebra de mapas.....	91
Figura 59 – Mapas de Porcentagem de SAP (a) e permeabilidade para a profundidade de 10 cm (b) utilizando álgebra de mapas.....	92
Figura 60 – Mapas de Porcentagem de Argila (a) e permeabilidade para a profundidade de 40 cm (b) utilizando álgebra de mapas.....	93
Figura 61 – Mapas de Porcentagem de SAP(a) e permeabilidade para a profundidade de 40 cm (b) utilizando álgebra de mapas.....	93
Figura 62 – Janela do raster calculator da ferramenta de álgebra de mapas. ....	94
Figura 63 – Mapas componentes do mapa de potencial infiltração. (a) Mapa de Nível de água, (b) mapa do susbtrato rochoso e (c) mapa de materiais inconsolidados. ....	96
Figura 64 – Soma da permeabilidade para a profundidade de 40 cm (direita) com o mapa geoambiental de potencial a infiltração utilizando álgebra de mapas. ....	97
Figura 65 – Procedimentos no software ArcGI10® para a elaboração do mapa geoambiental de áreas propícias à infiltração. ....	98
Figura 66 – Fluxograma das etapas de pesquisa .....	100
Figura 67 – Mapa do Material Inconsolidado sobre o Modelo Digital de Elevação na Bacia do Córrego São Pedro .....	102
Figura 68 – Perfil na Bacia do Córrego São Pedro .....	102
Figura 69 – Mapa de declividade (graus) da Bacia do Córrego São Pedro .....	104
Figura 70 – Mapa de unidades de materiais inconsolidados .....	105
Figura 71 – Localização das amostras 28 (TCC), 32 (RFSG), 31 (O/H), 36 (RFSG), 37 (RFM) sobreposta ao mapa hipsométrico .....	109
Figura 72 – Basalto alterado exposto com presença de fissuras preenchidas. ....	110
Figura 73 – Fendilhamento do solo da unidade TCC. Notar grumos maiores ao lado da fissura .....	111
Figura 74 – Solo da unidade TCC exposto próximo ao viaduto da BR-365 e BR-452 .....	111
Figura 75 – Localização da amostra ponto 19.....	112

Figura 76 – Perfil esquemático de uma rocha alterada na Unidade Residual material de origem arenitos (RFM) .....	114
Figura 77 – Localização da amostra 75 .....	118
Figura 78 – Distribuição da Unidade do Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM) na bacia do Córrego São Pedro. ....	119
Figura 79 – Furo da amostra 49 com a presença de grumos. ....	120
Figura 80 – Amostra 49 com presença de grumos. ....	120
Figura 81 – Amostra coletada no furo 50 com a presença de grumos e pedregulhos .....	121
Figura 82 – Curva de distribuição granulométrica e o mapa de localização das amostras da unidade “Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM)” .....	122
Figura 83 – Carta de Plasticidade.....	123
Figura 84 – Gráfico com os valores do coeficiente de permeabilidade .....	124
Figura 85 – Localização da Unidade do Transportado Cobertura de Chapadas (TCC).....	125
Figura 86 – Exposição de material inconsolidado argilo-arenoso em uma bacia de acumulação de águas pluviais. ....	126
Figura 87 – Furo e amostra da Unidade TCC .....	126
Figura 88 – Gráfico da granulometria e mapa de localização das amostras da unidade “Transportado cobertura de chapadas (TCC)” .....	129
Figura 89 – Gráfico representando o percentual das frações de argila e silte nas amostras próximo ao divisor de água. ....	130
Figura 90 – Gráfico da distribuição das frações granulométricas no sentido foz para o divisor de água.....	131
Figura 91 – Influência Antrópica no entorno de amostras coletadas. ....	131
Figura 92 – Gráfico com os limites de liquidez, plasticidade e o do índice de plasticidade para a unidade de Transportado Cobertura de Chapadas (TCC).....	133
Figura 93 – Carta de Plasticidade.....	134
Figura 94 – Distribuição espacial da Unidade Residual da Formação Marília na bacia hidrográfica do córrego São Pedro (RFM).....	137
Figura 95 – Amostra de material inconsolidado residual areno-argiloso (RFM). ....	138
Figura 96 – Voçoroca no Ponto 75.....	139
Figura 97 – Material compactado em subsuperfície da amostra do Ponto 75.....	139
Figura 98 – Dificuldade no início da perfuração no ponto 73. ....	139
Figura 99 – Mapa com a localização dos pontos e a curva granulométrica das amostras da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM)” .....	142

Figura 100 – Granulometria das amostras ao sul do divisor de águas da Bacia do Córrego São Pedro da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM).....	143
Figura 101 – Granulometria das amostras ao centro da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM) .....	144
Figura 102 – Granulometria das amostras aproxima e no Parque do Sabiá da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM) .....	145
Figura 103 – Amostra 66 da unidade “Residual material de origem arenitos” RFM .....	146
Figura 104 – Amostra 69 da unidade “Residual material de origem arenitos” RFM .....	146
Figura 105 – Carta de Plasticidade.....	147
Figura 106 – Localização da Unidade Transportado material de origem basaltos na bacia do córrego São Pedro (RFSG).....	149
Figura 107 – Residual argilo – siltoso da unidade RFSG produto decomposição intempérica de basaltos da Formação Serra Geral presente na área da bacia. ....	150
Figura 108 – Rocha em alteração encontrada na amostra do ponto 30.....	150
Figura 109 – Distribuição dos pontos de coleta das amostras da unidade “Transportado material de origem basaltos (RFSG)” .....	152
Figura 110 – Carta de Plasticidade.....	153
Figura 111 – Gráfico com os valores do coeficiente de permeabilidade .....	154
Figura 112 – Localização da Unidade Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H).....	155
Figura 113 – Amostra de material inconsolidado com características hidromórficas presentes nas identificação do ponto onde foi coletada a amostra.....	156
Figura 114 – Diferença de materiais inconsolidados em um furo de amostragem (ponto 58) .....	156
Figura 115 – Mapa com localização de pontos de coleta-de amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” .....	158
Figura 116 – Gráfico da granulometria das amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” próximas aos Córregos do Norte .....	159
Figura 117 – Gráfico da granulometria das amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” próximas aos Córregos Lagoinha e Mogi.....	160
Figura 118 – Gráfico da granulometria das amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” próximas à foz do Córrego São Pedro no Rio Uberabinha .....	160
Figura 119 – Gráfico com os valores de limite de liquidez e limite de plasticidade da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” .....	161
Figura 120 – Carta de Plasticidade.....	162

Figura 121 – Mapa de concentração de fração argila nos materiais inconsolidados da Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	165
Figura 122 – Mapa de concentração de fração silte encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	166
Figura 123 – Mapa das porcentagens de fração Areia Fina encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	167
Figura 124 – Mapa das porcentagens de fração Areia Média encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	168
Figura 125 – Mapa das porcentagens de fração Areia Grossa encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	168
Figura 126 – Mapa das porcentagens de fração pedregulho encontrados nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	169
Figura 127 – Mapa das porcentagens de SAP encontrados nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	170
Figura 128 – Gráfico com os valores de permeabilidade obtidos no ensaio de permeâmetro de Guelph para as profundidades de 10 e 40 cm, com exclusão do ponto 19.....	171
Figura 129 – Mapa da esquerda com a concentração de argila e o da direta com a granulometria de SAP com a localização dos pontos de amostrados e, abaixo, com valores de coeficientes de permeabilidade dos pontos 74,75,76,23,26, e 37.....	172
Figura 130 – Furo com presença de água profundidade de 10 cm.....	173
Figura 131 – Furo sem presença de água profundidade de 40 cm .....	173
Figura 132 – Interpolação pelo método Krigagem esférico dos coeficientes de permeabilidade para profundidade de 10 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG.....	174
Figura 133 – Interpolação pelo método Krigagem esférico dos coeficientes de permeabilidade para profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	175
Figura 134 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de Fração Argila com os coeficientes de permeabilidade para a profundidade de 10 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	176
Figura 135 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de SAP com os coeficientes de permeabilidade para a profundidade de 10 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	177
Figura 136 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de Argilas com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	178

Figura 137 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de SAP com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	179
Figura 138- Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das porcentagens de fração argilas com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 10 cm sobrepostas ao substrato rochoso na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG.....	180
Figura 139 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das porcentagens de fração argilas com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 40 cm sobrepostas ao substrato rochoso na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG.....	181
Figura 140 – Nível de água integrado às cotas altimétricas na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG.....	182
Figura 141 – Nível de água integrado ao coeficiente de permeabilidade (k) para a profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	182
Figura 142 – Porcentagens de Argilas sobre a declividade na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG.....	183
Figura 143 – Visualização de loteamentos na Fotografia aérea (1964) na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	184
Figura 144 – Vias principais de drenagem na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG .....	185
Figura 145– Mapa de potencial de infiltração na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG .....	187
Figura 146– Mapa de adequabilidade de infiltração na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG.....	188
Figura 147– Mapa destaque das áreas de maiores valores de adequabilidade de infiltração na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG .....	189
Figura 148 – Áreas verdes no entorno da Avenida. Vereador Carlito Cordeiro na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.....	190

## **Lista de Quadros**

Quadro 1 – Síntese das características Morfométricas da Bacia do Córrego São Pedro .....	27
Quadro 2 – Parâmetros morfométrico relacionado com inundação .....	45
Quadro 3 – Cartas geotécnicas de planejamento, segundo as escalas e os processos identificáveis, em que se incluem os movimentos gravitacionais de massa (inclusos as corridas) e as inundações.....	51
Quadro 4 – Esquema das principais etapas das linhas metodológicas para elaboração de mapas Geoambientais.....	53
Quadro 5 – Síntese Metodológica .....	63
Quadro 6 – Chave de interpretação .....	65
Quadro 7 – Quadro resumo do teste de impregnação .....	70
Quadro 8 – Parâmetros para o Teste de Dilatância .....	70
Quadro 9 – Terminologia do Sistema Unificado .....	74
Quadro 10 – Valores de $\alpha$ sugeridos para tipos de solo .....	84
Quadro 11 – Valores quantificado para caracterizar áreas de potencial infiltração.....	95
Quadro 12 – Componentes integrados na álgebra de mapas.....	95
Quadro 13 – Valores equivalentes para o coeficiente de permeabilidade (k) para profundidade de 40 cm. ....	97
Quadro 14 – Valores quantificado para caracterizar áreas de adequabilidade a infiltração....	98
Quadro 15 – Características gerais das Unidades de materiais inconsolidados.....	106
Quadro 16 – Classificação de cores das Unidades de materiais inconsolidados .....	114
Quadro 17 – Característica prévia da textura .....	115
Quadro 18 – Características após o teste de Dilatância .....	116
Quadro 19 – Furos para amostras nas unidades de materiais inconsolidados.....	117

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 – Valores equivalentes para álgebra de mapas .....	91
Tabela 2 – Valores interpolados na ferramenta de álgebra de mapas .....	94
Tabela 3 – Distribuição granulométrica das amostras 28, 32,e 31 .....	107
Tabela 4 – Distribuição granulométrica das amostras 36 e 37 .....	107
Tabela 5 – Resultados de análises granulométricas realizadas em amostras da Unidade do Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM) .....	121
Tabela 6 – Granulometria das amostras da Unidade do Transporta Cobertura de Chapadas (TCC) .....	127
Tabela 7– Valores do coeficiente de permeabilidade.....	135
Tabela 8– Valores do coeficiente de permeabilidade.....	135
Tabela 9– Resultados das análises granulométricas realizadas nas amostras da Unidade Residuais da Formação Marilia (RFM).....	140
Tabela 10– Valores do coeficiente de permeabilidade.....	148
Tabela 11– Valores do coeficiente de permeabilidade.....	148
Tabela 12 – Resultados das análises granulométricas obtidas em ensaios de granulometria das amostras da Unidade Transportado material de origem basaltos (RFSG) .....	151
Tabela 13 – Composição textural das amostras da Unidade Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H) .....	157
Tabela 14 – Síntese das unidades com a classificação do solo .....	164

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	21
2. OBJETIVOS .....	24
2.1 – Objetivo Geral .....	24
2.2 – Objetivos Específicos .....	24
3. ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.1 – Localização.....	25
3.1.1 As características relevantes do meio físico .....	26
3.1.2 Processo de urbanização indireto e direto da Bacia do Córrego São Pedro .....	30
3.1.3 Inundações na Bacia do Córrego São Pedro .....	38
4. REFERENCIAL TEÓRICO .....	41
4.1 Fatores na Inundação .....	41
4.2 Mapeamento Géotecnico .....	49
4.2.1 Mapeamento geotécnico x inundações .....	50
4.3 – Mapeamento Geoambiental .....	52
4.3.1 - Mapeamento geoambiental x inundações.....	54
4.4 Dinâmica da água no solo.....	54
5 – METODOLOGIA.....	62
5.1 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO .....	71
5.1.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).....	74
5.2 Interpolação .....	77
5.3 ENSAIO <i>IN SITU</i> COM PERMEÂMETRO DE GUELPH.....	79
5.4 MAPAS TEMÁTICOS.....	86
5.5 MECANISMO DA ÁRVORE LÓGICA PARA A SOBREPOSIÇÃO DE MAPAS....	89
6 – RESULTADOS .....	101
6.1. Unidades de Materiais inconsolidados .....	119
a) Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM).....	119
b) Transportado Cobertura de Chapadas.....	125
c) Residuais da Formação Marília (RFM) .....	136

d) Transportado material de origem basaltos (RFSG) .....	149
e) Orgânica e/ou hidromórfica (O/H) .....	154
6.2- Análise integral da Bacia do Córrego São Pedro .....	162
7. CONCLUSÃO .....	190
8. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	194
9. REFERÊNCIAS .....	195

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização brasileiro pode ser caracterizado na maioria das cidades por um crescimento rápido e intensivo. Esta agilidade é comprovada com dados populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Nestes dados a população brasileira passou de rural para urbana no final da década de 1960 e obteve um percentual de aproximadamente 55% na década de 1970. No ano 2000, após 30 anos, verificou-se o aumento de 25% na população urbana, alcançando o contingente populacional de 80% em relação ao total do país.

Este aumento populacional não foi comportado pelas cidades. Já no censo de 2010 a população urbana chegou a 84,36%, que comprova uma desaceleração visto que o aumento foi de 4,36% em 10 anos, mas este aumento de indivíduos é significativo e consequentemente contribui para uma urbanização inadequada.

A dinâmica deste processo não possibilitou um planejamento adequado na ocupação do solo além de sofrer com diversos fatores que de acordo com Catelan (2006), a (...) “composição da morfologia urbana a cidade conta com influências intra e interurbanas que são responsáveis, até mesmo, por definir a forma e função da cidade” (CATELAN, 2006, p.2).

Toda essa complexidade que interfere na dinâmica urbana culminou em problemas de naturezas diversas sejam estes de ordem ambiental ou sócio-econômico-cultural, por não considerar as condições limitantes dos componentes do meio físico: solo, água, rocha, relevo e as suas diferentes interações. Com isso, ocorre um planejamento fragmentado dos componentes do meio físico. Estas limitações poderiam ser reduzidas quando utiliza a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. A bacia contempla melhor a interação do meio físico, como por exemplo, a quantidade de recarga da bacia, o escoamento superficial e a declividade.

Geralmente, os planejadores e o poder público não se atentam para o volume de escoamento superficial gerado antes, durante e após a ocupação total da área de uma bacia hidrográfica urbana. Raramente nos estudos ambientais é realizada a avaliação do escoamento superficial considerando a evolução da ocupação da bacia. Normalmente a avaliação do escoamento superficial é feita apenas para a área da qual trata os estudos ambientais, sem considerar os efeitos sinérgicos do conjunto das ocupações da bacia.

Desse modo, visa-se apenas o dimensionamento das galerias pluviais nos projetos de cada loteamento, não considerando a ocupação da bacia como um todo, tratando do tema como um acontecimento local. No campo temporal não são realizados grandes obras de

infraestrutura, que utiliza o tempo de recorrência das precipitações com intensidades pluviométricas tais que resultem em um grande volume de escoamento superficial, como o dimensionamento das galerias pluviais. O alto custo da obra, a ocorrência dos episódios de precipitação serem bem distantes e a ágil dinâmica da ocupação da bacia levam a problemas ambientais.

O plano diretor de uma cidade constitui as diretrizes para o seu planejamento. Além disso, neste plano ocorre a integração dos planos, como o plano de drenagem, o plano de saneamento, o plano de resíduo sólidos. De acordo com Tucci (1997), por causa da relação entre interposição dos planos e necessidades semelhantes ocorrem principalmente com restrições da ocupação do solo e no dimensionamento da drenagem, alguns elementos estão presentes em ambos os planos. Assim, “(...) o Plano de Drenagem Urbana (PDU) deve ser um componente do Plano Diretor de Planejamento Urbano de uma cidade.” (TUCCI, 1997, p.9).

O processo de planejamento exige várias ferramentas. Dentre elas, utiliza-se o mapeamento geotécnico e geoambiental. Este pode ser compreendido como um processo de investigação e avaliação quali-quantitativo das características do meio físico pelo estudo de seus atributos e sua representação em mapas.

Mapas geoambientais integrados ao mapeamento geotécnico ampliam os componentes e as finalidades de análise ambiental, definindo tanto as potencialidades quanto as limitações do planejamento territorial. Após esta gama de mapas geoambientais gerados, é possível contribuir com dados e informações do meio físico e ambiental para o planejamento territorial. Portanto, espera-se contribuir para que os gestores determinem um uso do solo adequado.

Com isso, a área de estudo deste trabalho é a bacia do Córrego São Pedro, localizada na cidade de Uberlândia – MG, que sofre com as inundações recorrentes. As principais causas decorrem da ocupação urbana intensa, que culminou com a impermeabilização do solo. Além disso, o córrego sofreu uma modificação na sua configuração natural com a canalização fechada, desde a década de 1980, e sobre ele foi edificada a Avenida Rondon Pacheco.

Além disso, percebem-se problemas tanto nos canais quanto nas áreas a montante da bacia, como por exemplo, a movimentação de placas de asfalto na Avenida Segismundo Pereira após episódios de inundação. Esta remoção também é visualizada na Avenida Rondon Pacheco, além da inundação com presença de entulho e dos prejuízos socioambientais.

A tese tem como objetivo realizar a caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Córrego São Pedro, em escala de 1:25.000, com ênfase nas áreas com baixa densidade de ocupação ou em vias de ocupação. O desdobramento deste objetivo possibilitará a

compreensão das características das chuvas que causam inundação, quanto intensidade, frequência e duração, que são fundamentais no entendimento da precipitação para integrar os estudos geoambientais.

Objetiva-se também relacionar as características naturais e antrópicas com a inundação da Avenida Rondon Pacheco. E, por fim, apresentar um conjunto de informações geoambientais acerca do meio físico e de uso e ocupação, principalmente em documentos cartográficos que possam contribuir para o plano diretor da drenagem urbana na Bacia do Córrego São Pedro.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 – *Objetivo Geral*

Realizar uma caracterização geoambiental da Bacia do Córrego São Pedro a partir dos atributos e propriedades do meio físico, com vista a utilização do solo como um meio de infiltração das águas pluviais.

### 2.2 – *Objetivos Específicos*

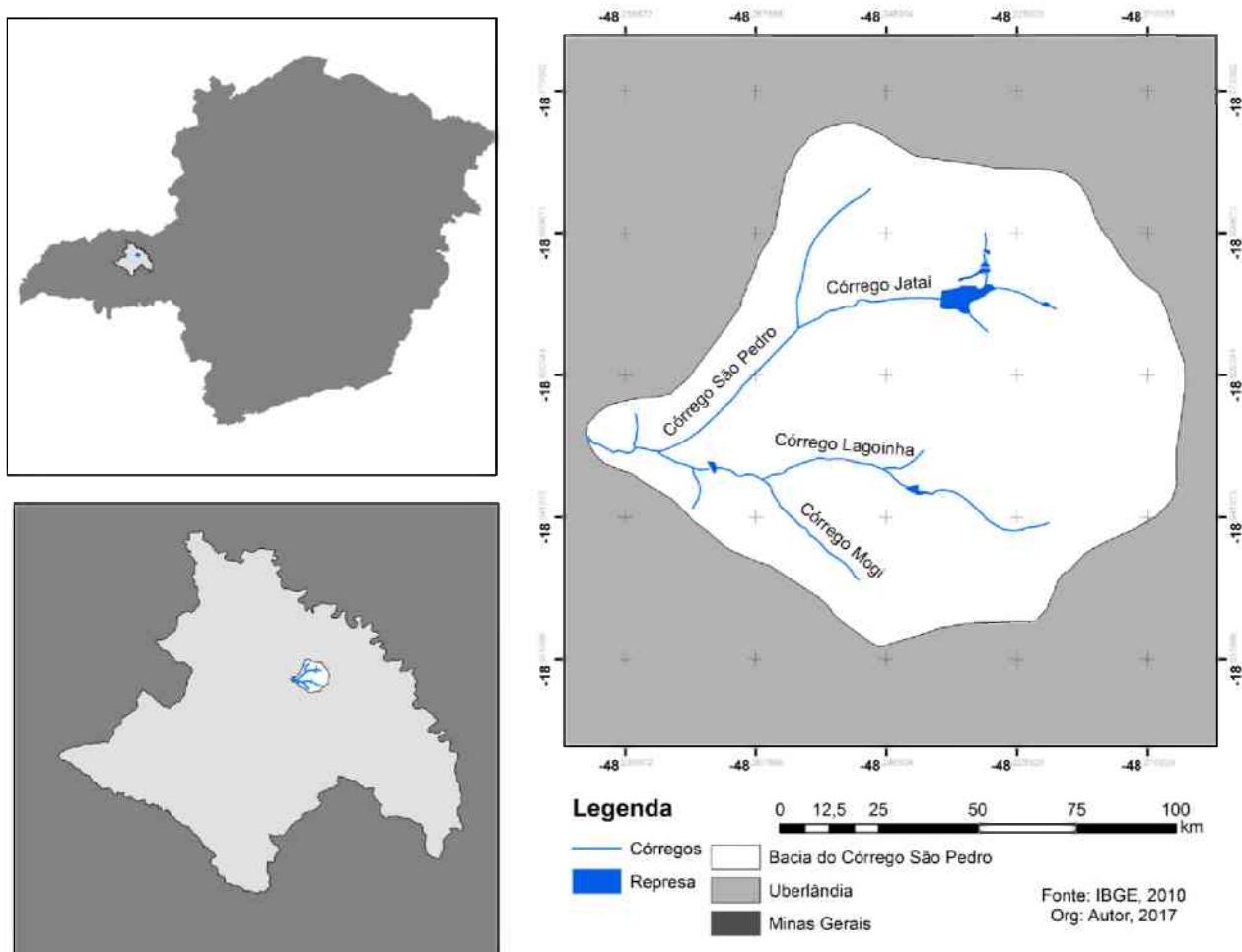
- Identificar os fatores naturais e antrópicos relacionados com as inundações da Avenida Rondon Pacheco;
- Representar as características do meio físico, a partir de seus atributos, em documentos cartográficos;
- Apresentar um conjunto de informações geoambientais e de uso e ocupação que possam contribuir para o plano diretor da drenagem urbana na Bacia do Córrego São Pedro.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 – Localização

A área de estudo corresponde à Bacia do Córrego São Pedro, que está localizada no Município de Uberlândia – MG situada nas coordenadas UTM 784000 – 794000m E e 7902000 – 7908000m N. Esta possui a sua maior parte na zona urbana de Uberlândia, com extensão de 48,201 km<sup>2</sup>. A bacia possui três características de urbanização que são: a área urbanizada, a área em expansão urbana (transição) e a área fora do perímetro urbano. Outro destaque é que a drenagem fluvial da bacia está praticamente toda na área urbana como apresentado na Figura 1, pelos Córregos São Pedro, Jataí, Lagoinha e Mogi.

Figura 1 – Localização da Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG



A canalização fechada do Córrego São Pedro teve início no final da década de 1970. Foi uma obra de infraestrutura relevante para a expansão da cidade, porque possibilitou a implantação da Avenida Governador Rondon Pacheco (Figura 2). A qual é uma via arterial localizada sobre o canal. Entre suas margens foram construídas oito faixas de pistas de rolagem, quatro em cada sentido, separadas ao meio por uma área verde de canteiro central. O passeio da via é composto por uma ciclovia (indicada pela seta amarela), uma pequena área verde e um trecho edificado (Figura 2).

Figura 2 – Avenida Rondon Pacheco – 2016



Foto: Autor, 2016

### 3.1.1 As características relevantes do meio físico

Na análise do meio físico da bacia foram utilizados parâmetros morfométricos, contemplando o comportamento hidrológico, a geologia, a geomorfologia e o clima. Primeiramente, têm-se os parâmetros morfométricos, que contribuem para a compreensão do comportamento hidrológico, auxiliam na avaliação da evolução do uso do solo e oferecem informações sobre a dinâmica da paisagem. Através dessa análise, foi possível identificar e avaliar fatores relacionados às inundações. O Quadro 1 é uma síntese destes parâmetros morfométricos direcionado para as inundações na área de estudo.

Quadro 1 – Síntese das características Morfométricas da Bacia do Córrego São Pedro

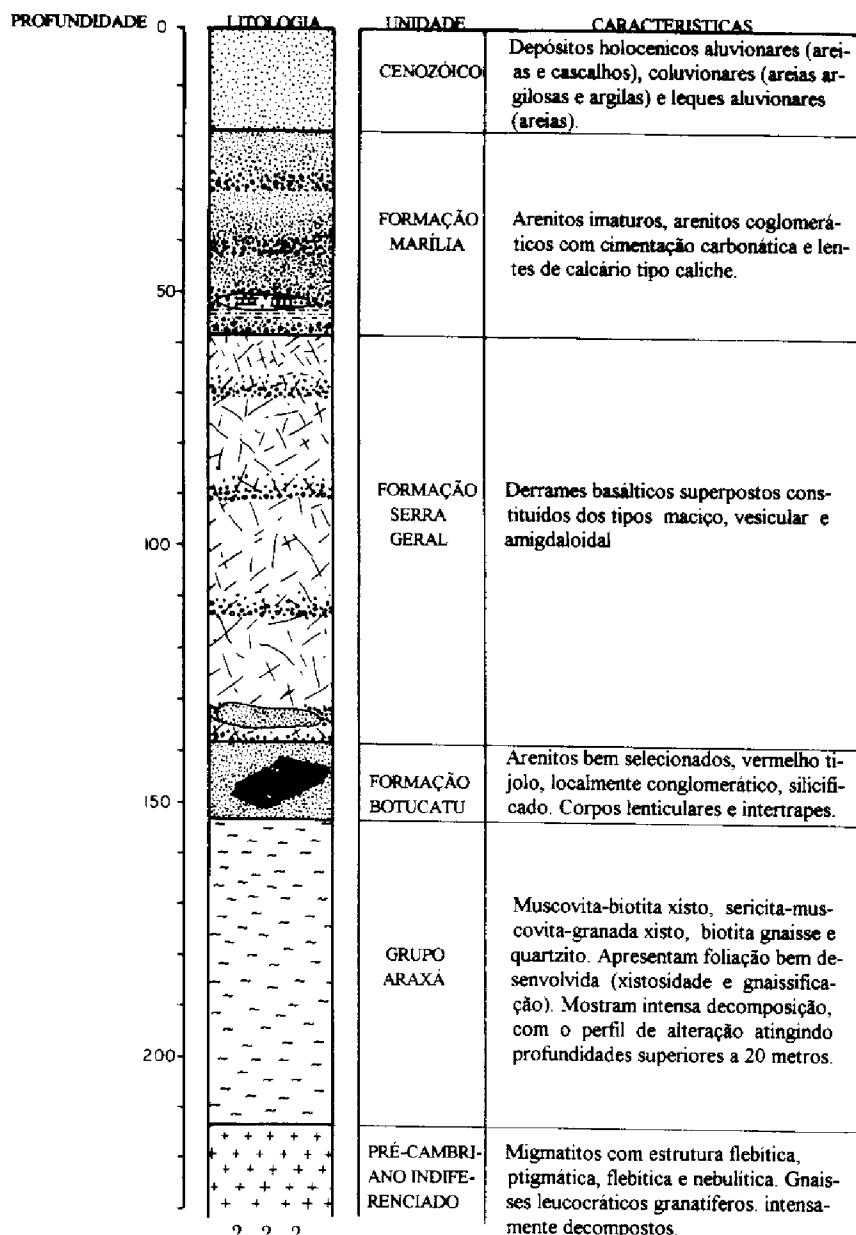
Características Morfométricas	Valores
Área de drenagem (A)	48,201 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	27,507 km
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,109
Fator de forma (F)	0,913
Padrão de drenagem	Dendrítico
Altitude mínima	770 m
Altitude média	887,53 m
Altitude máxima	930m
Comprimento total dos canais (Lt)	21,3 km
Comprimento do canal principal (Lp)	6,92 km
Densidade de drenagem (Dd)	0,5 km/km <sup>2</sup>
Ordem de Strahler	3
Sinuosidade do rio principal	1,18
Coeficiente de Manutenção	2 km <sup>2</sup> /km

Fonte: CAIXETA, NISHIYAMA, p.06, 2015

Dentre estes parâmetros destaca-se a área da bacia hidrográfica, que determina a dimensão da captação de água por deflúvio, infiltração e percolação. O fator de forma é a comparação do contorno da bacia com um círculo. Isto é, o fator é da divisão da área drenagem (m<sup>2</sup>) pelo quadrado do comprimento do eixo da bacia (m). Ao analisar a chuva precipitada no raio, percebe-se que a velocidade do escoamento superficial é a mesma, gerando uma sobrecarga ao centro do círculo formando uma inundação. Para a bacia o valor obtido foi de 0,913, que é próximo de “um”, tendo uma maior probabilidade de ocorrer a inundação. Após analisar os demais parâmetros elencados no Quadro 1, percebe-se que a bacia estudada tende a desenvolver inundações independentemente do uso do solo.

Os materiais inconsolidados são representados pela cobertura cenozoica, compostos de tipos areno-argilosos e argilo-silto-arenosos. Camadas rudáceas de espessuras variáveis na base do pacote também estão presentes. Nas porções de chapadas há uma cobertura extensa superficial de materiais argilo-arenosos. (NISHIYAMA,1998). A Figura 3 apresenta a coluna estratigráfica do Município de Uberlândia que foi realizada por NISHIYAMA (1998).

Figura 3 – Coluna estratigráfica do Município de Uberlândia - MG



Fonte: NISHIYAMA, 1998, p. 125

As áreas de chapadas são caracterizadas por colinas amplas de perfil convexo e com baixíssima predominância de declividades entre 2° e 5°, favorecendo os processos geomorfológicos de escoamento pluvial laminar e difuso (BACCARO, 1994). Esta característica de relevo é identificada na bacia do Córrego São Pedro na área do divisor de águas com um relevo com pouco declive, próximo ao bairro Novo Mundo.

Outro trabalho que corrobora para o entendimento da formação dos solos da área de estudo é apresentado por Del Grossi (1993): “considerando a fragilidade dos solos cenozóicos que recobrem a maior parte do sítio urbano, é evidente que chuvas frequentes, intensas e

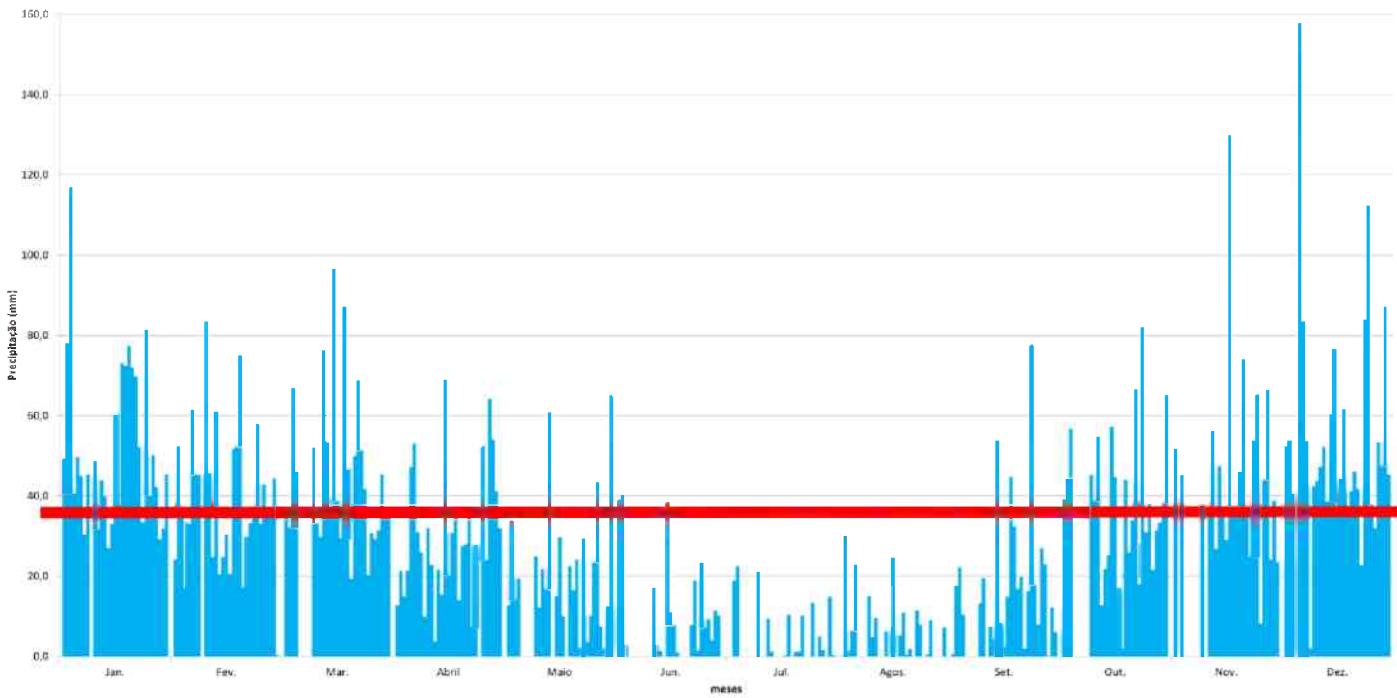
concentradas em alguns meses, sempre trazem sérios problemas à cidade” (DEL GROSSI, 1993, p. 118).

A dinâmica climática é outro elemento importante do meio físico. O clima do Município de Uberlândia possui verões quentes e chuvosos e invernos com temperaturas amenas e secas, classificado de acordo com Koppen como Aw (Tropical) (AYOADE, 2004).

A Figura 4 apresenta a série histórica de 32 anos (1981 – 2013) de precipitação acumulada. A representação da precipitação máxima foi determinada pelo evento de precipitação acumulada máxima diária, no intervalo do mês pelo período da série histórica. Estes dados são da Estação Climatológica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia.

Verifica-se que os meses em que tiveram precipitações maiores que 40 mm em um único dia, representados pela linha vermelha, foram janeiro, fevereiro, março, abril, maio, setembro, outubro, novembro e dezembro. A coleta dos dados foi da precipitação acumulada, que é possível identificar os dias de chuva, mas não a sua intensidade. Nos últimos anos, foi instalado nesta mesma estação um pluviógrafo que permite analisar a duração e a frequência das chuvas.

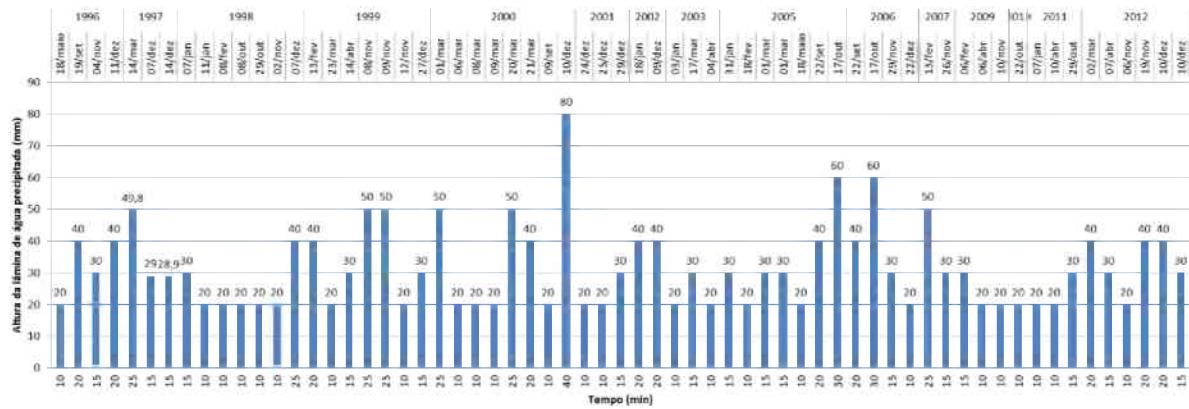
Figura 4 – Ocorrências diárias de precipitações máximas acumuladas no intervalo de um mês, por um período 32 anos (1981 – 2013) em Uberlândia/MG.



Fonte: Estação Climatológica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) gerenciada pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia – UFU. Org: Autor, 2014

A Figura 5 apresenta os dados de pluviógrafos com uma duração mínima de 10 minutos e a altura precipitada superior de 20 mm. Ao determinar este intervalo, buscou-se selecionar os episódios de maior precipitação neste período. Como, por exemplo, a chuva que ocorreu no ano 2000, com um tempo de 40 minutos, obteve 80 mm de chuva e foi uma situação de prejuízos na cidade.

Figura 5 – Histórico de precipitação de um período de 16 anos (1996 – 2012) na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG



Fonte: Estação Climatológica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) gerenciada pelo Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos do Instituto de Geografia – UFU. Org: Autor, 2014

Ao relacionar essa intensidade da chuva com as diversas áreas de lotes vagos, com o solo exposto, na área urbana, possibilita a aceleração e formação dos processos erosivos e transporte de material, como, por exemplo, a formação da erosão laminar. No estudo de Soares (2008), ressaltam-se as chuvas intensas que “(...) podem ser consideradas um agente importante nos processos morfogenéticos e na estruturação da paisagem” (SOARES, 2008, p. 30).

### 3.1.2 Processo de urbanização indireto e direto da Bacia do Córrego São Pedro

No complexo processo de formação da cidade é necessário compreender as suas relações internas e externas. As relações internas podem ser compreendidas de forma simplória como o eixo central da economia da cidade. Já, as relações externas podem ser compreendidas como a importância regional, a integração tanto com as cidades vizinhas quanto com grandes centros. Esse processo no caso brasileiro teve uma mudança significativa após a década de 1970, por causa, principalmente, do êxodo rural e do crescimento populacional.

A significativa migração possibilitou que a maioria da população brasileira residisse na cidade, gerando uma demanda interna de estrutura, infraestrutura e serviços. Entretanto, a cidade, na maioria das vezes, não conseguiu atender a população com, por exemplo, tratamentos médicos, escolas, entre outros. Com isso, parte da população buscou outras cidades que a atendessem. Isto gerou um processo de integração entre as cidades, com a formação das redes, das hierarquias e dos aglomerados urbanos. Segundo Sposito (2012):

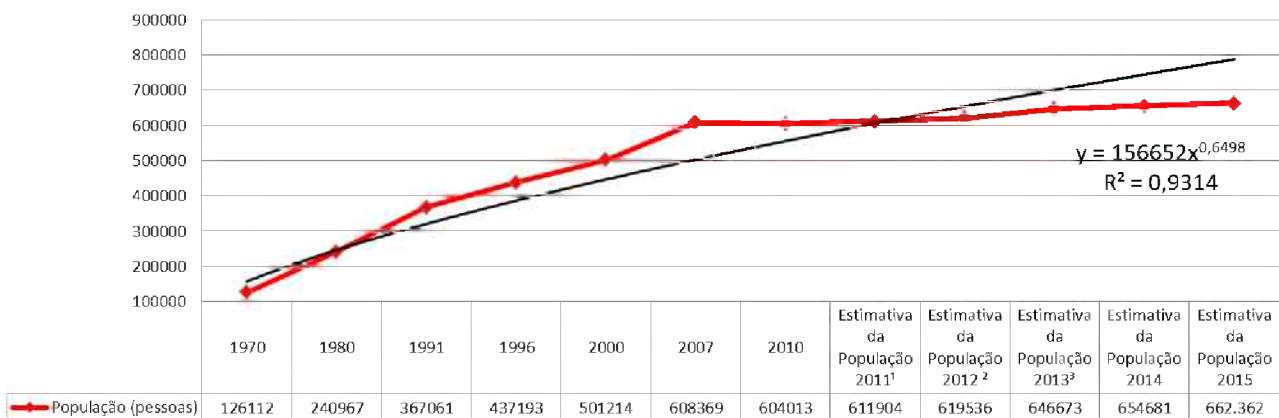
Entender a cidade de hoje, apreender quais processos dão conformação à complexidade de sua organização e explicam a extensão da urbanização neste século, exige uma volta às origens e a tentativa de reconstruir, ainda que de forma sintética, a sua trajetória (SPOSITO, 2012, p. 11).

Para facilitar a compressão da ocupação, do crescimento e da formação de Uberlândia, este estudo foi subdividido em dois sucintos tópicos abordando duas escalas: uma a nível regional, que influencia indiretamente na urbanização da área de estudo; e a outra abordando diretamente a urbanização na Bacia do Córrego São Pedro.

#### **a) Processo de ocupação do Município de Uberlândia**

A formação e o crescimento urbano de Uberlândia acompanham a maioria das cidades brasileiras, que é representado principalmente pelo crescimento populacional. A Figura 6 apresenta o crescimento populacional no período de 1970 a 2015. No gráfico o período de 1970 a 2007 (37 anos) mostra que ocorreu um crescimento significativo da população. Já no período próximo a 2015, percebe-se o aumento do crescimento populacional, que é comprovado pela linha de tendência no gráfico. Porém, a infraestrutura e os serviços urbanos não foram suficientes para contemplar à demanda populacional gerando problemas socioambientais e prejudicando a organização das cidades.

Figura 6 – Crescimento populacional do Município de Uberlândia



Fonte: FIBGE - CEPES/IEUFU: Censos Demográficos 1970, 1980 / IBGE: Censo Demográfico 1991, Contagem Populacional 1996, Censo Demográfico 2000, Contagem Populacional 2007 e Censo Demográfico 2010;<sup>1</sup> BESSA, 2007, p. 84). Com isso, é necessário compreender os principais elementos que fomentaram a urbanização de Uberlândia.

Para compreender essa complexa urbanização da cidade de Uberlândia, apesar de não ser o foco deste trabalho, Bessa (2007) faz uma abordagem da formação de Uberlândia. De acordo com Bessa (2007): “(...) apoiado em uma abordagem histórica, que permite analisar sistematicamente a constituição do território, busca-se reconhecer, ao longo do tempo, as sucessivas fases de configuração e reconfiguração de rede urbana no Triângulo Mineiro, (...)” (BESSA, 2007, p. 84). Com isso, é necessário compreender os principais elementos que fomentaram a urbanização de Uberlândia.

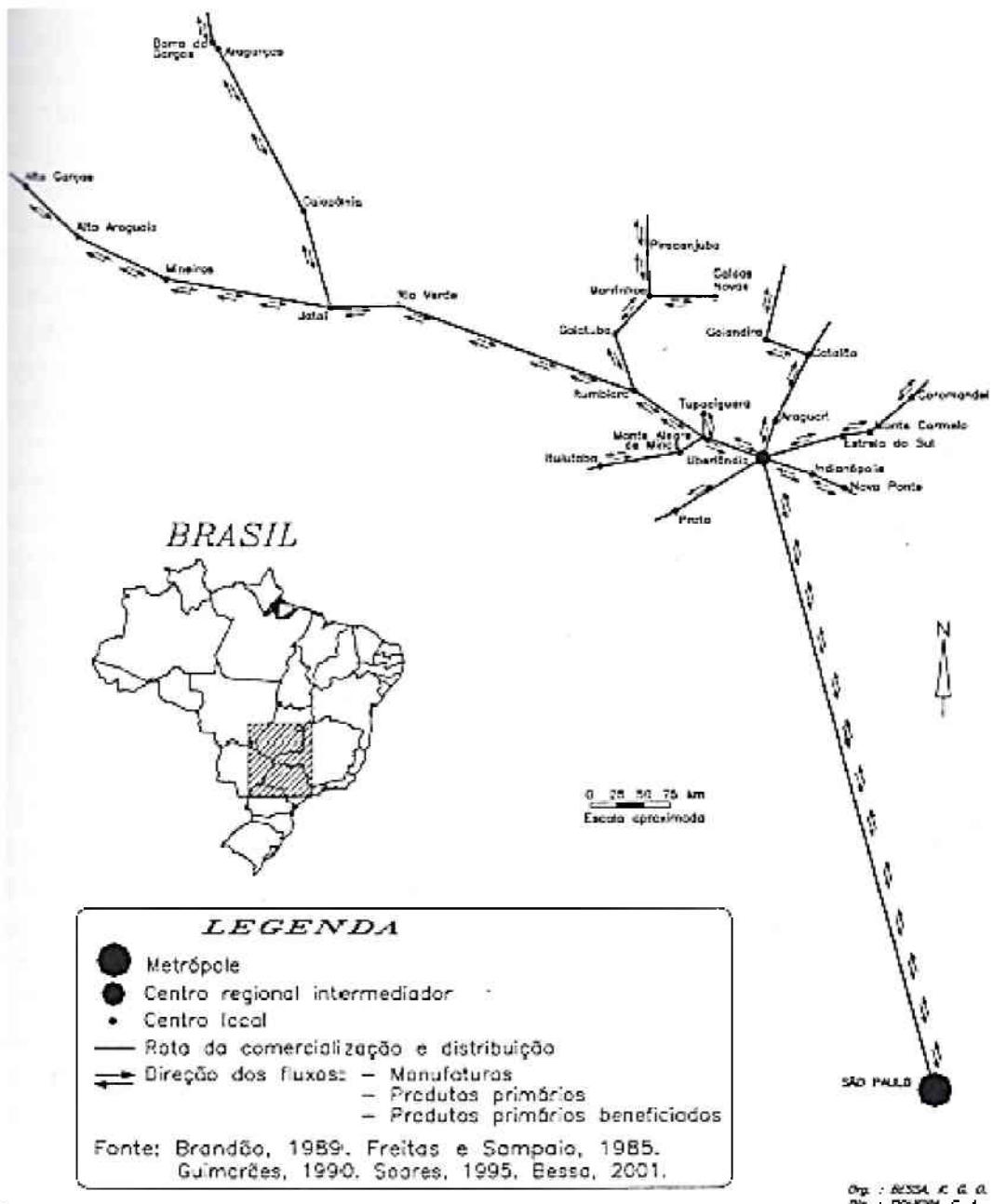
Dessa forma, esta autora faz um recorte temporal iniciado na década de 1950, marcado pela instalação de indústrias (com um total de 60 estabelecimentos), que utilizaram como base os produtos agropecuários. A Figura 7 apresenta a relevância regional da cidade de Uberlândia para a circulação da produção, comercialização e empresas atacadistas (BESSA, 2007).

<sup>1</sup>Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. NOTA 1: Estimativas da população residente com data de referência 1<sup>o</sup> de julho de 2011.

<sup>2</sup>Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. NOTA 1: Estimativas da população residente com data de referência 1<sup>o</sup> de julho de 2012.

<sup>3</sup>Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais. NOTA 1: Estimativas da população residente com data de referência 1<sup>o</sup> de julho de 2013.

Figura 7 – Importância regional de Uberlândia em 1950



BESSA, 2007, p. 139

Juntamente com estes circuitos houve a influência regional, que proporcionou uma retenção da renda regional, possibilitando a articulação de capitais. Este capital foi investido na base da economia através da agropecuária, da indústria de transformação e do comércio atacadista. Estes corroboram para a expansão de Uberlândia (BESSA, 2007).

A construção de Brasília também foi um marco na história de Uberlândia, que garantiu a condição de entreposto comercial. Além disso, ela está em uma localização estratégica entre a nova capital e a sede da economia brasileira (São Paulo). Com isso,

propiciou-se a formação de uma malha tanto ferroviária quanto rodoviária ao longo dos anos, gerando diversas rotas comerciais (BESSA, 2007).

As ferrovias locais faziam as ligações do centro-oeste do país com as principais capitais (São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro). Mas, a consolidação da expansão de Uberlândia veio com o entroncamento rodoviário e telecomunicações estabelecendo a rede urbana. Neste processo de crescimento da cidade, ressalta-se o empenho da elite local que buscava o crescimento da cidade (BESSA, 2007). Desta forma, comprehende sucintamente o processo de formação da cidade e a sua relevância regional.

### **b) Crescimento urbano na Bacia do Córrego São Pedro**

A ocupação da Bacia do Córrego São Pedro foi iniciada principalmente pelos bairros Patrimônio e Fundinho, aproximadamente na década de 1940. Entretanto, é necessário também compreender a ocupação dessa área, considerando a conduta da política local na edificação da cidade, nos vetores de expansão e na dinâmica urbana.

De acordo com Soares (1995), a política econômica de Uberlândia ansiava um reconhecimento regional, a presença do “progresso” e com atendimento de diversos serviços. Esta mesma autora comprova a modificação da infraestrutura da cidade quando diz:

Uma cidade que almejava o progresso e a modernidade, sobretudo, porque essas mudanças expressavam e fundamentavam a expansão das relações capitalistas, não podia conviver com ruas estreitas e tortuosas, em que se misturavam cavalos, carroças, automóveis, lojas com mercadorias amontoadas, que dificultavam a circulação de pessoas, e, principalmente, ensejavam a paisagem urbana (SOARES, 1995, p. 101).

No trecho seguinte da tese de Soares (1995), aborda-se a ocupação na margem do Córrego São Pedro, que é realizada de forma coadjuvante no processo de urbanização da cidade. “A cidade velha que atendendo aos imperativos da época, buscou as glebas que se estendem ao longo dos ribeirões São Pedro e Cajubá, apresentando suave declive.” (SOARES, 1995, p. 105 *apud* CORREIO DE UBERLÂNDIA, 07/04/48:02)

No processo de expansão da cidade, houve também o surgimento de vazios urbanos, que fomentou a especulação imobiliária. De acordo com Soares (1995), isso “(...) criou em Uberlândia um cinturão de terrenos vagos, expulsando a população carente para a periferia (...)” (SOARES, 1995, p. 211 *apud* PRIMEIRA HORA, 04/02/84:01).

Nesse sentido, o processo de ocupação da Bacia, segundo Soares (1995), delimitou o que se comprehende por as áreas sul e norte, formando a setorização da cidade:

A área Sul da cidade, às margens do rio Uberabinha e Córrego São Pedro, ficou reservada aos loteamentos de luxo, clubes campestres e as áreas leste/oeste para loteamentos periféricos e conjuntos habitacionais, onde se concentra uma parcela significativa da população assalariada überlandense. Ao norte, para o Distrito Industrial, o futuro Porto Seco, as distribuidoras de petróleo, as cerealistas. (SOARES, 1995, p. 234)

Dessa forma, ocorreram transformações como a vetorialização da expansão urbana, a funcionalização e o direcionamento do uso do solo. A região da bacia se constituiu tanto de áreas verdes, na parte sul, com moradores de alto poder aquisitivo, como de áreas pouco verdes, com adensamento populacional. Quanto aos loteamentos periféricos, em que se constata um adensamento populacional com poucas áreas verdes, geraram uma redução das áreas com possibilidade de infiltração.

Outro destaque da bacia é a presença de represas e lagoas próximas às nascentes dos Córregos Jataí e Lagoinha. As lagoas do Córrego Jataí estão no Complexo do Parque do Sabiá (Figura 8), cuja edificação iniciou-se em 1977, com a inauguração em 1982, e com uma área de 1.850.000 m<sup>2</sup>. Este complexo é administrado pela Fundação Uberlandense de Turismo, Esporte e Lazer (FUTEL) e possui uma completa infraestrutura com diversas quadras, zoológico, pista de corrida, aquário, áreas de recreação, um parque infantil, piscinas, lanchonetes, bosque, entre outros (Parque do Sabiá, 2016).

Figura 8 – Complexo Parque do Sabiá



Fonte: Parque do Sábia, 2016

Com esta infraestrutura o parque subsidia a prática de recreação das escolas em áreas verdes. Como, por exemplo, realizações de gincanas, a utilização dos brinquedos, a prática de Educação Ambiental, entre outros. O Parque é utilizado como objeto de estudo de vários pesquisadores, como, por exemplo, Franchin e Marçal Júnior (2004) com levantamento avifaunística, Rosa e Scriavini (2006) com o levantamento florístico e fitossociológico, Silva e Soares (2011) com a acessibilidade, Mazzei *et al* (2007) com o estudo das áreas verdes urbanas, entre outros.

A área das nascentes do Córrego Jataí possui uma preservação precária, como apresentado na Figura 9. Percebe-se a presença de uma vegetação baixa de pastagem. Mas, mesmo com esta precária vegetação e alguns locais de solo exposto, destaca-se que esta área favorece a recarga da Bacia. Outra diferenciação deste canal é a presença das lagoas e do lago artificial no interior do Parque do Sabiá, que propiciam a retenção de água pluvial. Além desta retenção o lago artificial no Parque (Figura 10) é utilizado para a recreação.

Figura 9 – Uma das nascentes do Córrego Jataí

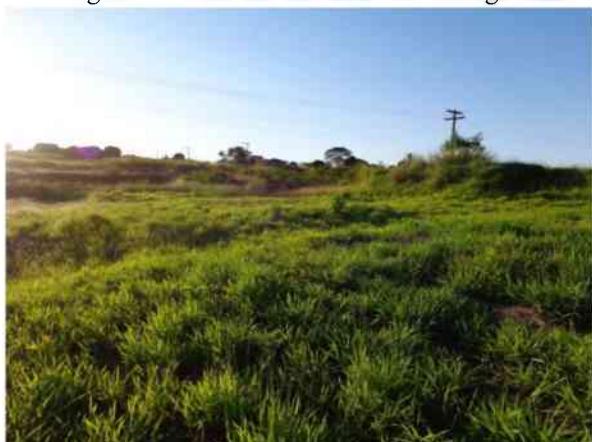


Foto: Autor, 2015

Figura 10 – Represa do Parque do Sabiá



Fonte: Correio de Uberlândia, 12 de março de 2011

Outra lagoa que colabora para retenção de água é a barragem do Córrego Lagoinha, mas com uma proporção menor. Este córrego está inserido no Parque Municipal Santa Luzia (Figura 11 e Figura 12) adjacente ao canal, com uma área de 267.093,00 m<sup>2</sup>, criado pelo Decreto Municipal nº 7452, de 27 de novembro de 1997. De acordo com a Figura 12, verifica-se que o parque é uma área de preservação significativa diante da expansão urbana.

Figura 11 – Entrada do Parque Municipal Santa Luzia



Fonte: Inventário de proteção do acervo cultural – Minas Gerais – Brasil. 2004

Figura 12 – Área de vereda ao longo do Córrego Lagoinha, no Parque Santa Luzia



Fonte: Inventário de proteção do acervo cultural – Minas Gerais – Brasil. 2004

Este parque está cercado para evitar principalmente atos de vandalismo, degradação ambiental, despejo de lixo e usos inadequados. No seu entorno ocorreu um adensamento populacional, que aumentou a impermeabilização do solo possibilitando uma mudança da dinâmica hídrica.

A nascente deste córrego possui uma voçoroca (Figura 13). Nesta área da nascente, verifica-se a falta de preservação (Figura 14). No estudo realizado por Soares *et al* (2009), comprova-se que o tipo de ocupação da bacia hidrográfica colabora para problemas de erosão na cabeceira.

Figura 13 – Voçoroca na nascente do Córrego Lagoinha



Foto: Autor, 2016

Figura 14 – Área da nascente do Córrego Lagoinha



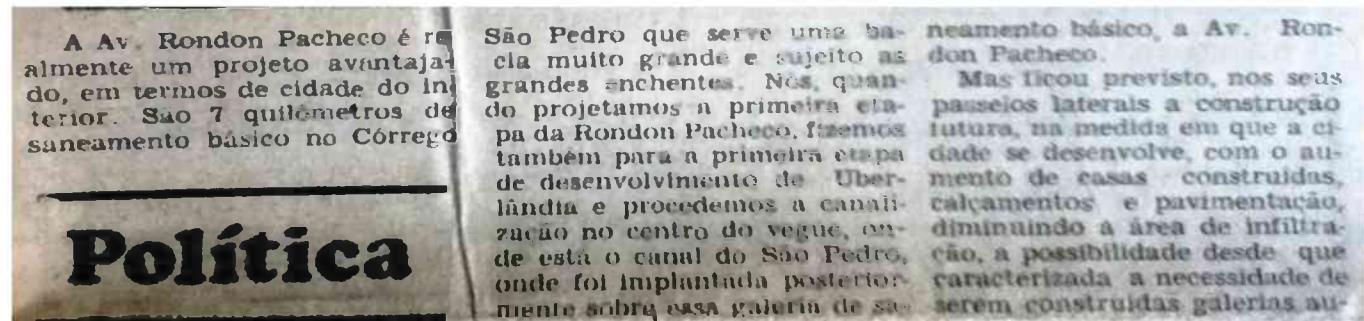
Foto: Autor, 2016

O Córrego Lagoinha possui alguns trechos canalizados e deságua no Córrego São Pedro. Soares *et al* (2009) alertam que ocorre o estrangulamento das galerias e canais. No estudo desta autora, o dimensionamento destas galerias é para uma vazão máxima de 35 m<sup>3</sup>/s. Ao simular um episódio de precipitação de 72mm/h, tanto para a área permeável e quanto para a impermeável, resulta em uma vazão do canal de 38,35m<sup>3</sup>/s, ultrapassando a vazão máxima dimensionada (SOARES, et al, 2009).

### 3.1.3 Inundações na Bacia do Córrego São Pedro

Na história recente do desenvolvimento urbano de Uberlândia, a partir da década de 1980, ocorreram diversos episódios expressivos de inundação. De acordo com a reportagem, do Jornal Correio de Uberlândia de 1983, da Figura 15, a bacia já indicava possíveis inundações no ano de 1983. Ao se comparar a urbanização de aproximadamente 30 anos atrás com a urbanização de hoje, é necessário pontuar que havia uma maior área não edificada.

Figura 15 – Reportagem da primeira etapa da Rondon Pacheco relacionada ao desenvolvimento de Uberlândia



Fonte: Correio de Uberlândia, 29 de janeiro de 1983. Pesquisa feita por Lucca Alfinito Felippe

De acordo com Del Grossi (1993), o primeiro caso de inundação com maior gravidade ocorreu em 1986. Durante um episódio de chuva intensa, ocorreu uma precipitação acumulada de 157,8 mm, o que produziu uma situação de completa destruição da galeria existente. Após esta catástrofe foi necessário realizar obras corretivas, de recuperação e de prevenção.

Na Figura 16, verifica-se que houve uma obra de canalização fechada do Córrego São Pedro, noticiada pelo Correio de Uberlândia, em 23 de janeiro de 1982. Com esta canalização foi implantada uma das principais vias de acesso rápido da cidade: a Avenida Governador Rondon Pacheco. Por causa da importância regional, conforme se observa na Figura 17, foram demandadas melhorias e ampliação na galeria fluvial sob da Avenida no ano de 2011.

Assim, têm-se aproximadamente 30 anos de sucessivas obras na área do canal, buscando melhorias e prevenção de inundações.

Figura 16 – Obra de canalização do Córrego São Pedro – 1982



Fonte: Correio de Uberlândia 23 de janeiro de 1982.  
Pesquisa feita por Lucca Alfinito Felippe

Figura 17 – Seção da galeria sob a Avenida Rondon Pacheco em 2011



Foto: Autor, 2011

As galerias pluviais são dimensionadas para episódios de chuva com tempos de retorno menores, como por exemplo de acordo com Tomaz (2010) “período de retorno de 25 anos na microdrenagem e em pontos especiais onde existem hospitais, etc adotar período de retorno de 50 anos” (TOMAZ, 2010, p. 3-68).

Dessa forma, ao ocorrer uma chuva com o grande tempo de retorno, como 50 anos, forma-se um cenário catastrófico. Outro fator que colabora para a redução da eficiência da galeria são os entulhos diversos, entre eles o lixo doméstico, resíduos da construção civil, restos vegetais, que são transportados pela água e possivelmente entopem as entradas das galerias. Assim, com a conjunção de todos estes fatores, geram-se episódios de inundações como apresentados nas Figura 18 e Figura 19.

Conforme a Estação Climatológica da UFU, a precipitação acumulada em 1 dia, foi de 65 mm no ano de 2013, o que resultou em uma situação de enorme prejuízo material pela destruição causada, principalmente ao longo da Avenida Governador Rondon Pacheco. Após ficar um período de três anos sem inundações relevantes, no dia 12 de março de 2016, ocorreu um novo episódio de inundações (Figura 20). De acordo com a Estação de Climatologia da Universidade Federal de Uberlândia a chuva durou 50 minutos com 50 mm.

Figura 18 – Avenida Rondon Pacheco com uma chuva de 2012.



Fonte: Correio de Uberlândia, 2012

Figura 19 – Avenida Rondon Pacheco inundada em 2013



Fonte: G1 Triângulo Mineiro, 2013

Figura 20 – Avenida Rondon Pacheco com uma chuva no dia 12 de março 2016



Fonte: Correio de Uberlândia, 2016

Essa complexa dinâmica urbana mostra a necessidade de se fomentar trabalhos acadêmicos tanto na área social quanto na área do meio físico. Nesse sentido, o estudo feito por Andrade *et al* (2014) mostrou que a ocupação da área no entorno do Córrego São Pedro possui um altíssimo risco de inundação, sobretudo nos eventos de chuvas concentradas, ressaltando a necessidade de uma ocupação antrópica do uso do solo mais adequada às dinâmicas hídricas do solo.

Apesar dessas considerações, o processo de urbanização na bacia – principalmente no Centro e nos bairros Fundinho, Patrimônio, Tabajaras, Lídice, Cazeca e Vigilato Pereira – foi iniciado nas áreas classificadas pelo estudo como alto e altíssimo risco de inundação, demandando o aumento e a complexidade das medidas de controle de inundação (ANDRADE, *et al*, 2014).

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo aborda o referencial teórico da temática com a caracterização dos elementos do meio físico, a dinâmica da água no solo e os fatores que forma a inundaçāo. Para facilitar o entendimento seguem dois tópicos. Primeiramente contextualiza-se a dinâmica do meio físico na superfície com o foco para compreensāo dos fatores extrínsecos responsáveis pela geraçāo das inundações com a variaçāo do uso do solo, neste caso, a área urbana. No desdobramento deste tópico que faz uma ponte com o outro tópico do trabalho é a Cartografia Geotécnica. Esta é uma ferramenta que faz a junçāo de todas as propriedades levantadas no estudo para propiciar uma análise adequada do estudo.

Já, o outro subtópico tem o objetivo de compreender a dinâmica da água no solo com o foco para a área de infiltração e material inconsolidado. Ao longo deste tópico há uma relação entre esses dois elementos: mecânica dos solos e os parâmetros geotécnicos, visto que cada um destes elementos possui uma grande diversidade de características, ensaios de laboratório e campo.

### 4.1 Fatores na Inundaçāo

A inundaçāo é um fenômeno natural e é tema de discussāo para vários autores que discorrem sobre os conceitos de inundaçāo, enchentes, alagamentos, transbordamentos para diferentes rios com revestimentos naturais, canalizaçāo aberta e fechada. Neste trabalho compreende-se a inundaçāo como o processo de ocupação das águas pluviais no leito maior e na planície de inundaçāo do canal e também na impossibilidade de infiltração com a formação de uma lâmina de água em alguns pontos da bacia (TUCCI, 2009).

A gênese e variaçāo da inundaçāo são baseadas principalmente na precipitação, nas características do canal, no relevo, o uso do solo e no material inconsolidado.

#### a) Precipitação

A precipitação propicia o início do processo de inundaçāo de acordo com a sua intensidade, duraçāo e frequênciā. Antes de começar os estudos com o foco nas precipitações intensas, que geram as inundações significativas, é necessário compreender a complexidade da precipitação.

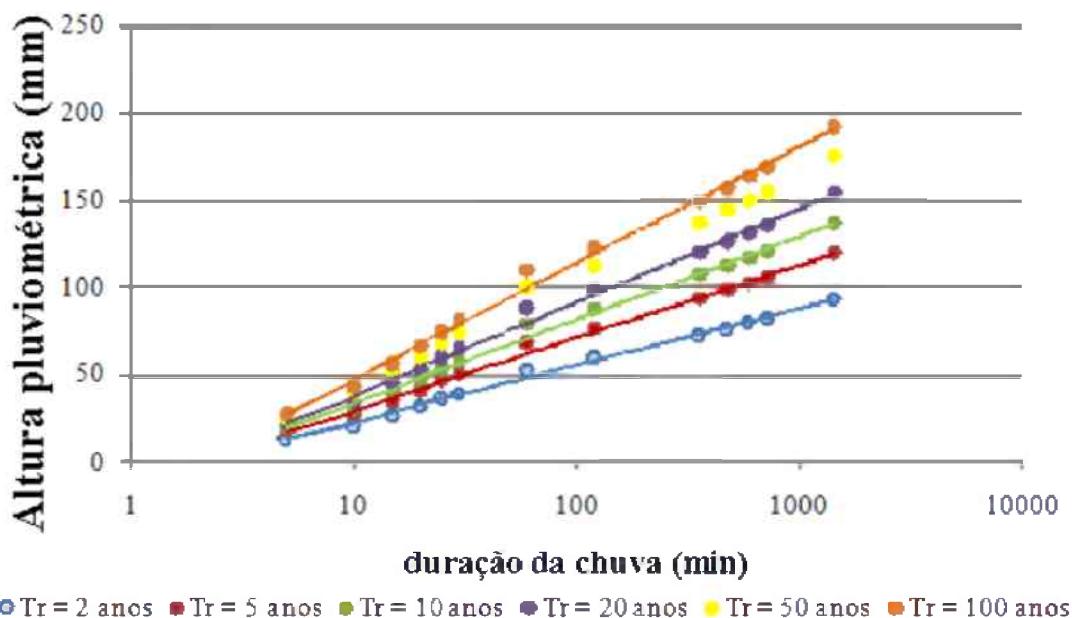
Na compreensāo da precipitação são fundamentais os períodos, o histórico e as amplitudes (máxima, mínima e média) das chuvas. De acordo com a classificação de Köppen (ALOYADE, 2004) a maioria do território brasileiro está inserido nos climas tropicais chuvosos, com uma evapotranspiração anual menor que precipitação pluvial anual e com

verões chuvosos, que favorecem episódios de chuvas intensos e rápidos gerando a inundaçāo. (ALOYADE, 2004). Mendonça e Oliveira (2007) corroboram com essa classificaçāo com:

A distribuiçāo e variabilidade das chuvas no Brasil estāo associadas à atuaçāo e a sazonalidade dos sistemas convectivos da macro e mesoescala e, em especial, da frente polar atlântica (FPA). Isso explica as diferenças dos regimes pluviométricos encontrados e que se expressam na diversidade climática do País, com tipos de chuvosos, semi-áridos, tropicais e subtropicais (MENDONÇA e OLIVEIRA, 2007 ,p.146)

As características regionais estāo abordadas no capítuulo da caracterizaçāo da área de estudo. Dentre as amplitudes da precipitaçāo abordam-se os casos de chuvas intensas caracterizando principalmente a duraçāo, intensidade e frequênciā das chuvas de forma integrada (Figura 21). A duraçāo é o período da chuva (início e fim), expressa em (min). Jā, a intensidade é a relaçāo entre a altura pluviométrica e a duraçāo, expressa em (mm/min) ou (mm/h) (TUCCI, 2009).

Figura 21 – Curva Altura, duraçāo e frequênciā.



Fonte: FRANCISCHET, M.M.; ALAMY FILHO, J. E., 2011

Outro parâmetro para quantificar as inundaçāes é a altura pluviométrica que pode ser compreendida como a espessura da lâmina de água sobre uma superfície saturada, admitindo-se que nāo ocorram evapotranspiraçāo, escoamento superficial e infiltraçāo (TUCCI, 2009).

As intensidades das precipitaçāes sāo consideradas moderadas quando ocorrem eventos cuja altura pluviométrica (Figura 22) atinge no māximo 6 mm em 10 minutos; sāo

consideradas fortes, quando o volume precipitado chega a 10 mm em dez minutos, ou seja, 60 mm em uma hora (INMET, 1999). (CAMAPUM DE CARVALHO, *et al*, 2012, p. 35)

Figura 22 – Classificação das chuvas de acordo com o grau de intensidade dos episódios.

Chuva Fraca	Chuva Moderada	Chuva Forte
Precipitação entre <b>1,1 e 5 mm/h</b> . As gotas de chuvas são destacad as; as superfícies secas levam cerca de dois minutos para umedecerem; fios de água nas sarjetas e ruas.	Eventos de chuvas entre <b>5,1 e 60 mm/h</b> ou no máximo <b>6 mm em 10 minutos</b> . Provocam esborrifos em contato com superfícies duras, escoamento das águas nas calhas do telhado em um terço a mais da metade de sua capacidade.	Episódios acima de <b>60 mm/h ou 10 mm em 10 minutos</b> . Chuvas torrenciais.

Fonte: CAMAPUM DE CARVALHO, *et al*, 2012, p. 35 *apud* INMET, 1999. Adaptado: Autor, 2016

Outro parâmetro fundamental é o tempo de concentração (Tc). Este tempo é compreendido como o tempo que água precipitada no divisor de água chega ao exutório. Já, nos estudos de hidrograma “este tempo é definido também como o tempo entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma” (TUCCI, 2009, p. 394).

No Brasil os dados primários são escassos, como por exemplo, dados fluviográficos, series históricas de pluviográficos, entre outros. Com isto, nos estudos de inundação utilizam-se os modelos chuva-vazão em simulações discretas (análise estatística dos dados) e não em simulações contínuas (CANHOLI, 2005). Estes modelos são estudados e aprimorados por diversos pesquisadores como Tucci (2005), Canholi (2005) e Moreira (2005).

### **b) Características do canal e morfometria da bacia.**

Os canais naturais possuem geometrias heterogêneas, com diferentes tipos de escoamento e com variadas velocidades. Há também as edificações dos canais que passam a serem canais fechados ou abertos, seções circulares e especiais, e com rugosidades do talude e fundos diferentes. Com isto, para caracterizar o canal é necessário compreender os principais elementos geométricos.

Os parâmetros morfométricos corroboram na análise do meio físico e são utilizados em diversas áreas de pesquisas como indicadores de atividades tectônicas (BARBOSA e FURRIER, 2012). Estes parâmetros também influenciam o escoamento superficial, o

processo de erosão e as especificações do manejo de cada bacia hidrográfica (TONELLO, *et al*, 2006). A maioria dos autores como Christofoletti (1980), Tucci (2009), Silva (2011) e Fioreze, *et al* (2010) faz uma relação da rede de drenagem, características geométricas da bacia e o relevo.

Desta forma, os parâmetros morfométricos possuem uma ampla área de atuação. Por isso, serão apresentados neste trabalho os parâmetros morfométricos direcionados para inundação. Outra característica nesta análise é a drenagem. Esta é classificada principalmente quanto ao seu padrão de drenagem, tanto ao tipo de canal.

O padrão de drenagem mais frequentemente encontrado é o dendrítico, que possui uma semelhança com “galhos de árvores” e ocorre com rochas dos substratos homogêneos. Já o padrão paralelo segue a estrutura do substrato, que orientam-se ao mergulho do terreno. No caso do padrão radial a drenagem distribui em todas as direções. E por fim, a drenagem treliça ocorre onde há diferenças nas resistências em faixas paralelas com plano de fraquezas ortogonais no substrato rochoso, que é heterogêneo (TEIXEIRA *et al*, 2008).

As classificações dos tipos de canais são: retilíneo, meandrante, entrelaçado e anastomosado. Esta classificação ocorre de acordo com os padrões morfométricos (sinuosidade, grau de entrelaçamento e relação largura e profundidade). Há diversos parâmetros morfométricos neste estudo. Entretanto, foca-se nos parâmetros que colaboram para a ocorrência de inundação. Outro parâmetro que interfere na formação da inundação é a declividade, que atua principalmente na velocidade do escoamento superficial.

Estes parâmetros estão apresentados no Quadro 2. (TEIXEIRA *et al*, 2008).

Quadro 2 – Parâmetros morfométrico relacionado com inundaçāo

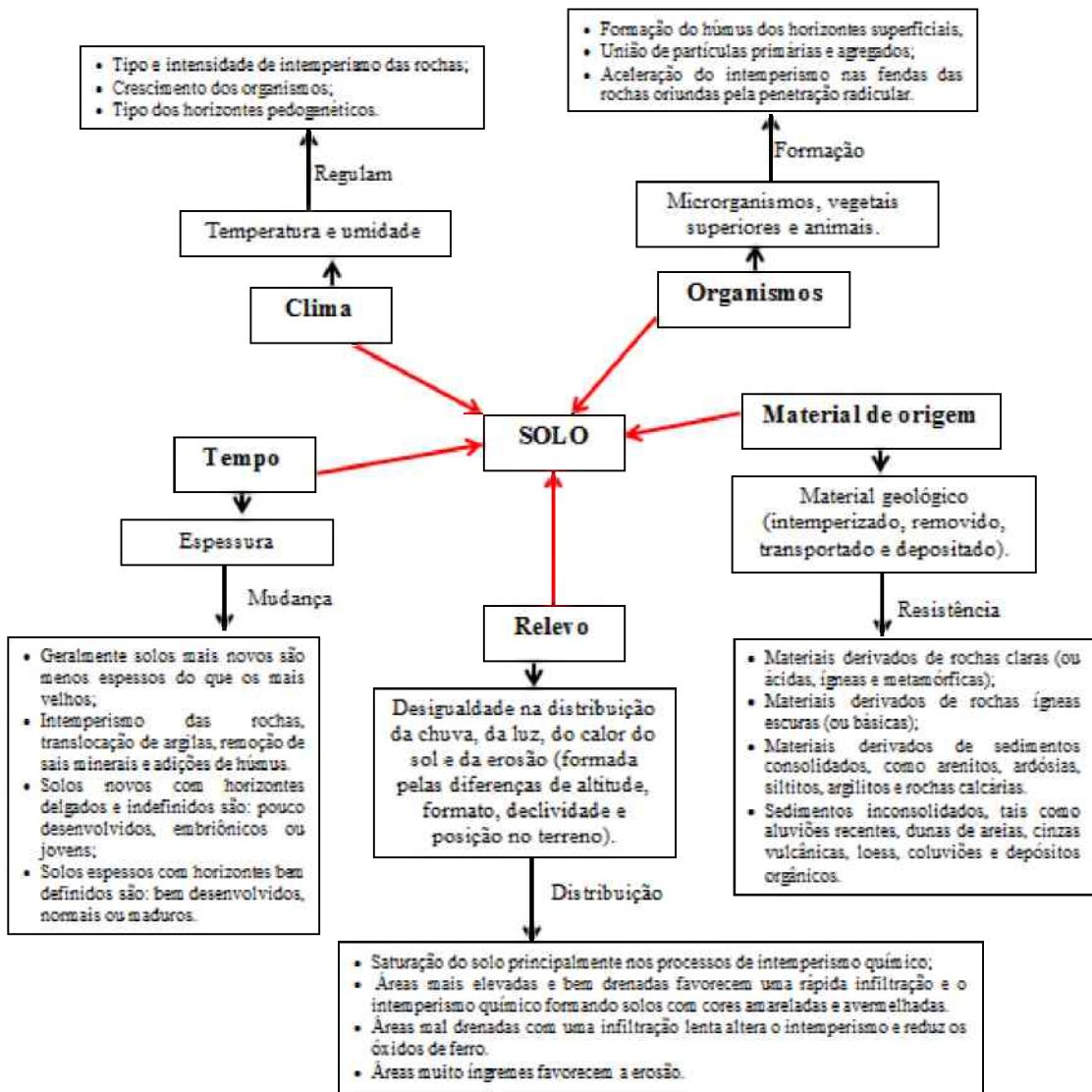
Parâmetro	Relação com a inundaçāo	Equaçāo
Índice de compacidade ou índice de Gravelius ( $K_c$ )	Resultado foi próximo de 1 (um) a bacia possuirá uma forma próxima a circular ou oval com uma maior probabilidade de ocorrer inundaçāes comparada com uma bacia alongada como um retangular	$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$ P = perímetro da bacia A = área da bacia.
Fator de forma ( $k_f$ )	Quanto maior o fator de forma da bacia maior a probabilidade de ocorrer inundaçāo comparada com uma bacia da mesma área, mas com o fator de forma menor.	$k_f = \frac{A}{L^2}$ A = área da bacia L = comprimento axial da bacia
Densidade de drenagem ( $D_d$ )	Este parâmetro indica a vazāo estā concentrada em um canal, que corrobora para a formāo da inundaçāo. Ou, se a vazāo estā dispersa em vārios canais reduzindo a formāo da inundaçāo.	$D_d = \frac{L}{A}$ L = comprimento total dos canais A = área da bacia
Sinuosidade do curso d'água ( $Si_n$ )	Este parâmetro contribui na caracterizaçāo da velocidade do escoamento superficial.	$Si_n = \frac{L}{L_t}$ L = comprimento do rio principal L <sub>t</sub> = comprimento do talvegue
Coeficiente de manutenção ( $C_m$ )	A área mínima para manutenção do canal. Auxilia no dimensionamento das áreas de bacias de detenção.	$C_m = \frac{1}{D_d}$ D <sub>d</sub> = densidade de drenagem

Fonte: VILLELA e MATTOS (1975) e CHRISTOFOLETTI (1980). Adaptado: Autor, 2016

### c) Formāo e Uso do solo

Na dinâmica do solo é necessário compreender os principais fatores atuantes na sua gēnese. Na Figura 23 dos fatores de alteração do solo, utiliza-se na equaçāo modelo de Lepsch (2010) *apud* Jenny (1941) para a gēnese do solo. Entretanto, este trabalho possui uma abordagem com o foco na geotécnica não contemplando a pedologia e a descrição de perfil de solo. Nos tópicos seguintes será abordada a relaçāo do solo com a água.

Figura 23 – Fatores de formação do solo



Fonte: LEPSCH, 2010. Adaptado: Autor, 2016

Outro elemento que influencia diretamente na dinâmica do solo é o seu uso pela ação antrópica, que no geral são tanto nas áreas rurais, quanto nas áreas urbanas. Devido à complexidade do uso do solo restringe-se neste trabalho ao processo de urbanização e a sua relação com os corpos d'água.

O processo de urbanização, e modificação do uso do solo, pode ser compreendido sucintamente de acordo com Sposito (2012): “A segunda metade do século XX é marcada por uma urbanização acelerada nos países de economia dependente, e suas cidades manifestam todo tipo de problemas, relacionados ao “inchaço” populacional que vivem” (SPOSITO, 2012, p.70).

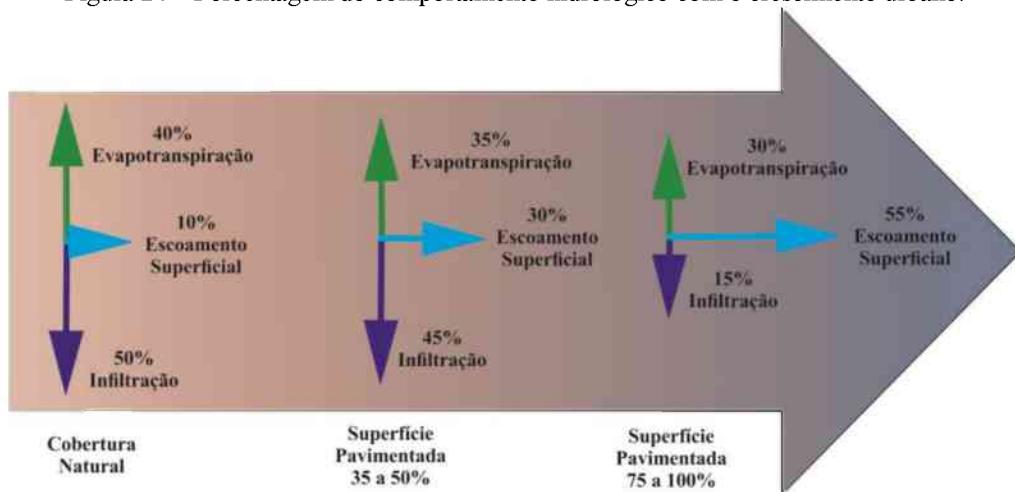
A estruturação das grandes cidades leva à modificação dos usos e funcionalidade da terra, por causa do comportamento social e cultural. Esses usos que formam os centros das cidades pode ser compreendido pelos usos comerciais, residenciais e prestação de serviços. De acordo com Corrêa (2005), “Este complexo conjunto de usos da terra é, em realidade a organização espacial da cidade ou, simplesmente, o espaço urbano, que aparece assim como espaço fragmentado” (CORRÊA, 2005, p.7).

Tendo em vista diversas funcionalidades dos espaços das cidades, o valor da terra na cidade encareceu gerando um adensamento habitacional, principalmente nas periferias como casas pequenas e compactas. Este adensamento originou problemas internos nas casas como o aumento na dificuldade de escoamento de esgoto, a falta de água limpa, a eliminação do lixo, a falta de ventilação das casas, entre outros. Além disso, também ocorreram os problemas externos às casas como a poluição, o aumento dos impactos urbanos, as enchentes, os assoreamentos, os problemas de erosão.

O início do século XXI foi marcado por diversas experiências em melhorar essas condições e infraestruturas urbanas brasileiras incentivadas principalmente pela legislação, a Constituição Federal com os planos diretores, a necessidade de um adequado planejamento e integração das cidades. Assim, percebe-se quão são complexas as cidades.

Dentre essas complexidades está a relação de ocupação urbana com o comportamento hidrológico. Neste trabalho adota-se o termo “comportamento hidrológico” ao referir a dinâmica da água na precipitação, na superfície e na subsuperfície. A Figura 24 apresenta o comportamento hidrológico em relação a modificação do uso do solo.

Figura 24 – Porcentagem do comportamento hidrológico com o crescimento urbano.

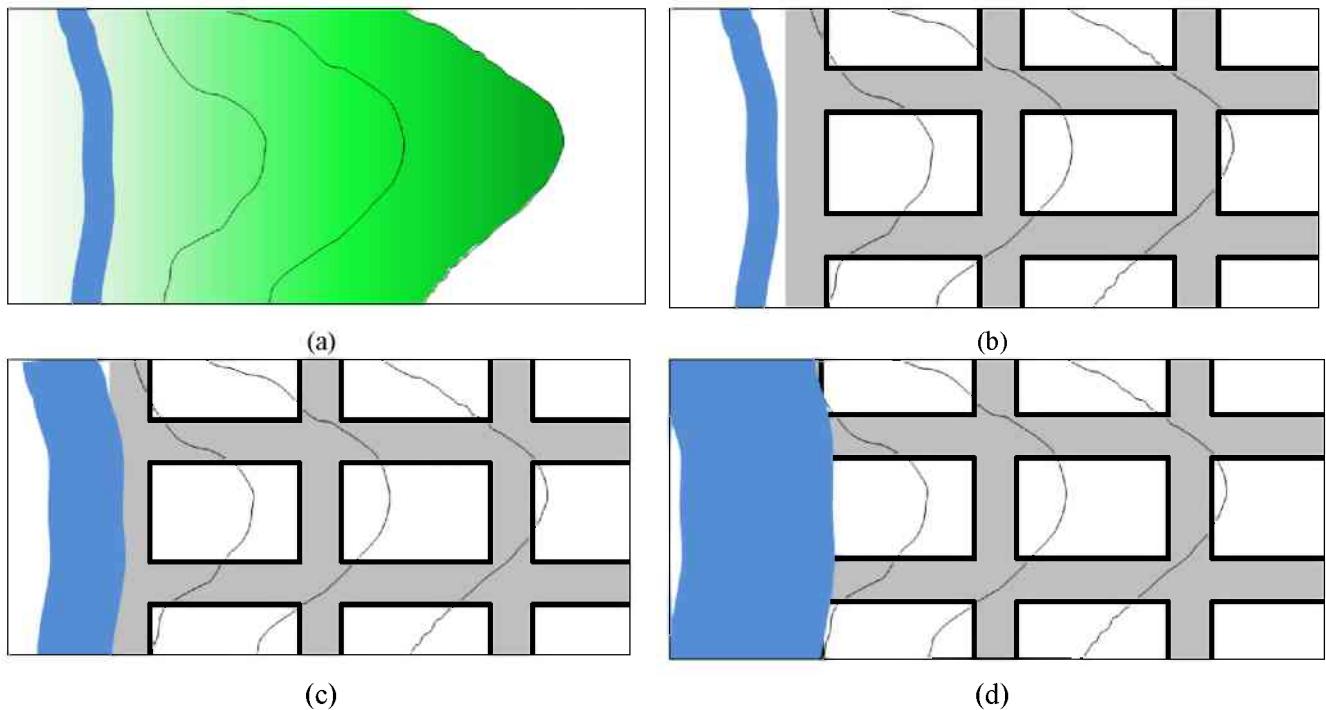


Fonte: U.S.A. Nashville – Davison County (1973)apud MOTA (2011). Org: Autor, 2016

A ausência de um sistema de drenagem pluvial adequado, a ocupação dos solos com excessiva impermeabilização e o aumento no transporte de sedimentos – tanto materiais inconsolidados quanto lixo – geram uma modificação na dinâmica pluvial, provocando inundações em diversas áreas urbanas brasileiras. Desta forma, o traçado urbano intensifica o fluxo de água, favorece o escoamento superficial e reduz a infiltração.

Estes elementos oriundos do traçado quando localizados nas áreas adjacentes aos córregos culminam na causa da formação das inundações (BOTELHO, 2011). A Figura 25a apresenta uma vertente com uma topografia natural e com o canal no seu leito menor. Já na Figura 25b apresenta-se o processo de urbanização. Nesta urbanização ocorre a ocupação do leito maior (Figura 25c) e da planície de inundação (Figura 25d) que atinge toda uma via edificada.

Figura 25 – Leito do canal. (a) Vertente com topografia natural. (b) Vertente edificada. (c) Área de ocupação do leito maior do rio. (d) Área de ocupação da planície de inundação.



Fonte: BOTELHO 2011. Adaptado Autor, 2014

Devido à complexidade de se estudar as inundações em áreas urbanizadas, este tema foi desenvolvido por diversos autores, como Tucci (1999), Canholi (2005), Tucci (2009), Milograna (2001), Boldrin (2005), Hora e Gomes (2009), entre outros. Tais estudiosos buscaram a quantificação e as análises da inundação, promovendo informações e avaliações de risco no meio físico. Tendo isso em vista, propõe-se a aplicação de medidas para controlar, mitigar, restringir e prevenir a dinâmica de inundação urbana, principalmente no caso de eventos extremos de precipitação.

As inundações estão presentes em diversos locais como no estudo realizado por Sunkar (2011) em bacias hidrográficas com históricos de inundações catastróficos, como no Rio Iluh (cidade de Batman - Turquia). De acordo com o estudo de Bellu *et al* (2016) a base principal para gestão das inundações são: comportamento do pico de inundaçāo, a frequência dos episódios e um sistema de deteção adequado.

Com a complexidade de parâmetros, elementos e fatores no meio físico e a sua própria dinâmica é necessário à utilização de ferramentas que possibilitem a realização de diagnóstico e prognóstico deste meio. Dentre essas ferramentas encontra-se o mapeamento geoambiental na quantificação, caracterização e análise do meio físico. O mapeamento geoambiental é uma ferramenta somada ao mapeamento geotécnico, que determina áreas, zonas e parâmetros geoambientais para auxiliar o planejamento ambiental.

#### **4.2 Mapeamento Géotecnico**

O documento cartográfico é necessário ao uso para qual este vai ser criado e quais características cartográficas serão necessárias (tamanho da escala, tipo das imagens e a área). O uso compreende as informações de variabilidade espacial e temporal do meio físico apresentadas na carta. Já as características cartográficas compreende a precisão, dados numéricos, o nível de escala, os atributos avaliados, utilização de dados pontuais e de preferência associados ao um banco de dados. (ZUQUETTE, GANDOLFI; 2004)

Apesar de a cartografia geotécnica ter se iniciado no início do século XX com formas próprias, foi durante as décadas de 1940 e 1950 o seu período mais profícuo e durante as décadas de 1960 e 1970 é que se verificou a maior produção em termos de trabalhos. Os primeiros mapas geotécnicos que se tem notícia datam do ano de 1913, quando foram apresentados durante a Exposição Técnica de Leipzig - Alemanha, por Langen.

Enquanto que em alguns países do mundo se fazia sentir a preocupação em se conhecer as limitações do meio físico já no início do século XX frente a sua ocupação crescente, no Brasil esta área começou a se desenvolver a partir da década de 1970. A rigor, somente em 1974 é que foi elaborado o primeiro mapa geotécnico. Após essa data, vários trabalhos foram realizados por pesquisadores dos institutos de pesquisa e dos centros universitários. A maioria desses mapas geotécnicos seguia linhas metodológicas desenvolvidas no exterior e adaptadas para o nosso país, portanto, nem sempre adequadas às condições ambientais, tecnológicas e sócio-econômicas que predominam na realidade brasileira.

Na fundamentação do trabalho, os mapas cartográficos servem para conceituar o mapeamento geotécnico que respalda a quantificação da especificidade local. De acordo com Nishiyama (1998):

(...) o Mapeamento Geotécnico vem se constituindo em um conjunto de procedimentos de seleção, levantamento, produção, análise, avaliação e representação de informações (atributos) do meio físico, visando subsidiar técnica e economicamente a ocupação ordenada e avaliação geoambiental. Ainda, constitui o escopo do Mapeamento Geotécnico a previsão de problemas envolvendo o meio físico e sua correção (NISHIYAMA, 1998, p. 18).

De acordo com Zuquette e Gandolfi (2004) o mapeamento geotécnico busca avaliar os processos que ocorrem no meio físico, como o uso do solo, processos naturais e induzidos. Assim, ao realizar esse mapeamento buscam identificar limitações, potencialidades e interações do meio. Com isto, o planejamento utiliza o mapa geotécnico como uma ferramenta de gestão. (ZUQUETTE, GANDOLFI; 2004)

Entretanto, as condições sócio-econômicas do país e escassez de informações básicas em função da extensão territorial e baixa densidade de ocupação em algumas regiões, Zuquette (1987) adotou alguns princípios gerais para mapeamento geotécnico para a realidade brasileira em sua tese de doutorado:

- Limitar o número de atributos a serem considerados em cada folha, porém, resguardando a fidelidade do mapa em respeitar a finalidade desejada e mostrar as informações de forma objetiva e compreensível;
- Considerar o mapa geotécnico como um documento auxiliar em programas de planejamento ambiental;
- Considerar a investigação local como fator imprescindível na análise de um terreno;
- Estabelecer objetivos de mapeamento e sua finalidade (específica, particular ou geral);
- Realizar uma análise criteriosa dos atributos a serem mapeados (ZUQUETTE, GANDOLFI; 2004).

#### **4.2.1 Mapeamento geotécnico x inundações**

Este tópico aborda a relação da Cartografia Geotécnica para prever, mitigar e analisar a dinâmica da inundaçāo. Primeiramente, para estudar inundações é necessário compreender a escala de análise. Neste trabalho, ressalta-se que os estudos com métodos geotécnicos estão integrados em diversas cartas como apresentado no Quadro 3:

Quadro 3– Cartas geotécnicas de planejamento, segundo as escalas e os processos identificáveis, em que se incluem os movimentos gravitacionais de massa (inclusos as corridas) e as inundações

Produto	Escalas de mapeamento	Processos geodinâmicos passíveis de identificação
<b>Cartas de suscetibilidade</b>	1:25.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa, <b>inundações/enchentes</b> , corridas, erosões, assoreamento, processos costeiros, sismos induzidos.
<b>Cartas de aptidão à urbanização</b>	1:10.000, 1:5.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, <b>inundações/enchentes/alagamentos</b> , corridas, erosões lineares de grande porte (ravinhas), assoreamento, subsidências e colapsos, expansão dos terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.
<b>Cartas de riscos geológicos</b>	1:2.000 ou maior	Movimentos gravitacionais de massa translacionais, rotacionais, em cunha <b>inundações/enchentes/alagamentos</b> , corridas de lama e detritos, rastejos, erosões lineares (sulcos, ravinhas e voçorocas), solapamentos de margens, assoreamento, subsidências e colapsos, expansão dos terrenos, queda e rolamento de blocos rochosos, processos costeiros.

Fonte: BITAR (org.), 2014, p.16 *apud* SOBREIRA e SOUZA, 2012

Para auxiliar o Mapeamento Geotécnico tem-se a utilização do sistema de informações geográficas com foi utilizado por Batista (2014). Este autor utiliza a metodologia da cartografia geotécnica (Zuquette & Gandolfi, 2004, Zuquette, 1987) e riscos geotécnicos na área da bacia hidrográfica do Rio São Bartolomeu no Distrito Federal.

Vários outros estudos utilizam o mapeamento geotécnico para casos de inundações, mas com o mapa de suscetibilidade. Como por exemplo, o estudo de Fernandes *et al* (2011) que aborda a inundações relacionada a edificação das rodovias. Já, a pesquisa de Kormann *et al* (2013) realiza um estudo do comportamento de encostas e inundações em Santa Catarina utilizando o mapeamento geotécnico- geológico.

Diante dos trabalhos lidos observa-se uma carência dos estudos relacionados à geotécnica de inundações. No entanto, percebem-se vários trabalhos abordando a dinâmica da água no solo com o intuito de mitigar e prevenir diversos problemas como erosão do solo durante a inundações com transporte de material, colapso, saturação e subsidências (recalque) dos solos inundados.

#### 4.3 – Mapeamento Geoambiental

O termo geoambiental conforme Failache (2015):

(...) adotado pela International Union of Geological Sciences - IUGS denomina a atuação dos profissionais das geociências em meio ambiente. Essa atuação contempla aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico aos diversos instrumentos e mecanismos de gestão ambiental, utilizando a cartografia (SILVA e DANTAS, 2010) (FAILACHE, 2015, p.28).

O mapeamento geoambiental juntamente com o mapeamento geotécnico possibilitam uma ampla análise ambiental da área de estudo. Como a temática geoambiental é muito vasta e utilizada em diversas áreas neste trabalho adotou-se o conceito de mapeamento geoambiental abordado por Vedovello (2004, p. 337) *apud* Chaves (2014, p.18) “como todo o processo de obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados de informações do meio físico” (CHAVES, 2014, p.18). Zuquette et al (1997) *apud* Fontes (2004) apresenta o zoneamento geoambiental elaborado de uma interação e análise dos atributos ambientais básicos e elaborados.

Com a complexidade de vários estudos o mapeamento geoambiental é utilizado principalmente em um sistema de informações geográficas (SIG) na integração e espacialização dos dados. Com isto, é possível aumentar a agilidade e a confiabilidade neste mapeamento. Desta maneira, o mapeamento auxilia no planejamento ambiental, no ordenamento territorial e zoneamento ambiental com determinação das unidades geoambientais, parâmetros e restrições.

O estudo de Dai *et al* (2001) realiza uma avaliação geoambiental na área urbana de Lanzhou (China) utilizando o SIG com uma análise multi-critérios na integração de uma grande quantidade de informações espaciais. Com isto, este autor gerou uma avaliação o desenvolvimento geoambiental com fatores adequadamente medidos e ponderados para cada categoria.

No sentido Dias (2013) fez uma avaliação ambiental detalhada principalmente do ciclo hidrológico e da ocupação territorial do médio Rio Grande localizado no sul do estado de Minas Gerais. Outro trabalho que soma com a necessidade de gerar mais subsídios para o planejamento ambiental foi o de Silva Neto (2012) com o mapeamento geoambiental sintético finalizando com a elaboração da carta de Indicação de Uso e Ocupação na área de expansão urbana de Santana do Paraíso, município da região metropolitana do Vale do Aço – MG

De acordo com Chaves (2014) a aplicação do mapeamento geoambiental possibilitou a determinação das unidades com maior suscetibilidade as chuvas intensas médias na área do Planalto Atlântico. Já Fontes (2004) em seu trabalho na Bacia do Rio Pardo realizou um

estudo de compartimentação do meio físico, com foco na base para compartimentação do terreno e análise do meio físico utilizando as Ottobacias elaborado por Pfafstetter (1987).

Seguindo está linha de pesquisa Rodarte (2015) realizou uma compartimentação do relevo fisiográfico na escala 1:50 000 da Bacia do Ribeirão Araras, situado no município de Araras (SP) e abordou as áreas urbanas com risco a ocorrência de inundações.

Existem duas principais linhas metodológicas (Quadro 4) para elaboração de mapas geoambientais ambas seguindo uma estrutura que pode ser sintetizada em quatro etapas:

Quadro 4 – Esquema das principais etapas das linhas metodológicas para elaboração de mapas Geoambientais.

Analítica	Sintética
Elaboração de mapas temáticos	Elaboração de mapas de unidade homogêneas
Avaliação de elementos em mapas temáticos	Avaliação das unidades homólogas por foto-análise
Análise multitemática, com enfoque geosistêmico	Análise sintética, com ênfase na informação geológica
Elaboração de mapas de Unidades de Paisagem	Elaboração de mapas de geodiversidade

CENDRERO, 1990 *apud* SILVA NETO, 2012, p. 29

Para Silva Neto (2012) a abordagem analítica pode ser compreendida com:

os temas separados e só depois estes são integrados, com a ajuda do geoprocessamento. Isto facilitou a integração desses dados ajudando e muito a interpretação e obtenção de resultados através dos produtos gerados. As fotografias aéreas e as imagens de satélite são os produtos de sensoriamento remoto mais utilizados atualmente em estudos do meio físico (SILVA NETO, 2012, p. 31)

De acordo com Silva Neto (2012) *apud* Roque (2006) o “método sintético baseia-se na identificação e análise das feições de relevo (landforms), as quais são resultados dos processos naturais atuantes sobre a superfície terrestre” (SILVA NETO, 2012, P.31).

Conforme o estudo de Failache (2015) com uma comparação destas duas metodologias na Bacia hidrográfica do Feijão verifica-se que o zoneamento geoambiental sintético, obteve 29 unidades geoambientais e dois zoneamentos geoambientais caracterizando de forma mais global. Já, o zoneamento geoambiental analíticos apresentou 4 unidades geoambientais, e mostrou-se mais restritivo e pontual na definição de suas unidades. Com isto, para estudos mais específicos percebe-se que o mais indicado é o analítico.

Diante dos diversos casos de mapeamento geoambiental é necessário restringir o objetivo do mapeamento, o local e o foco. Nesta tese o foco são as inundações do Córrego São Pedro na área urbana de Uberlândia, como já citado.

#### **4.3.1 - Mapeamento geoambiental x inundações**

O mapeamento geoambiental direcionado para os episódios de inundaçāo é aplicado com o intuído de prever os possíveis locais de ocorrência de inundações, determinar locais de alerta para inundações e áreas que foram atingidas pela inundaçāo e devem ser recuperadas. De acordo com Tucci (2007) o zoneamento das áreas inundáveis caracteriza-se em três etapas: determinação do risco das inundações, mapeamento das áreas sujeitas à inundaçāo e o zoneamento. Dentro do mapeamento encontra-se o mapeamento geoambiental para o planejamento e áreas de risco (TUCCI, 2007).

Para Santos *et al* (2007) o mapeamento da vulnerabilidade geoambiental faz uma integração de diversos processos ambientais como as inundações periódicas, o movimento de massa, recalques e colapsos do solo entre outros. Por isso, para estes autores estes estudos ambientais são fundamentais para a gestão do território, especializando as áreas potenciais e vulneráveis ao uso.

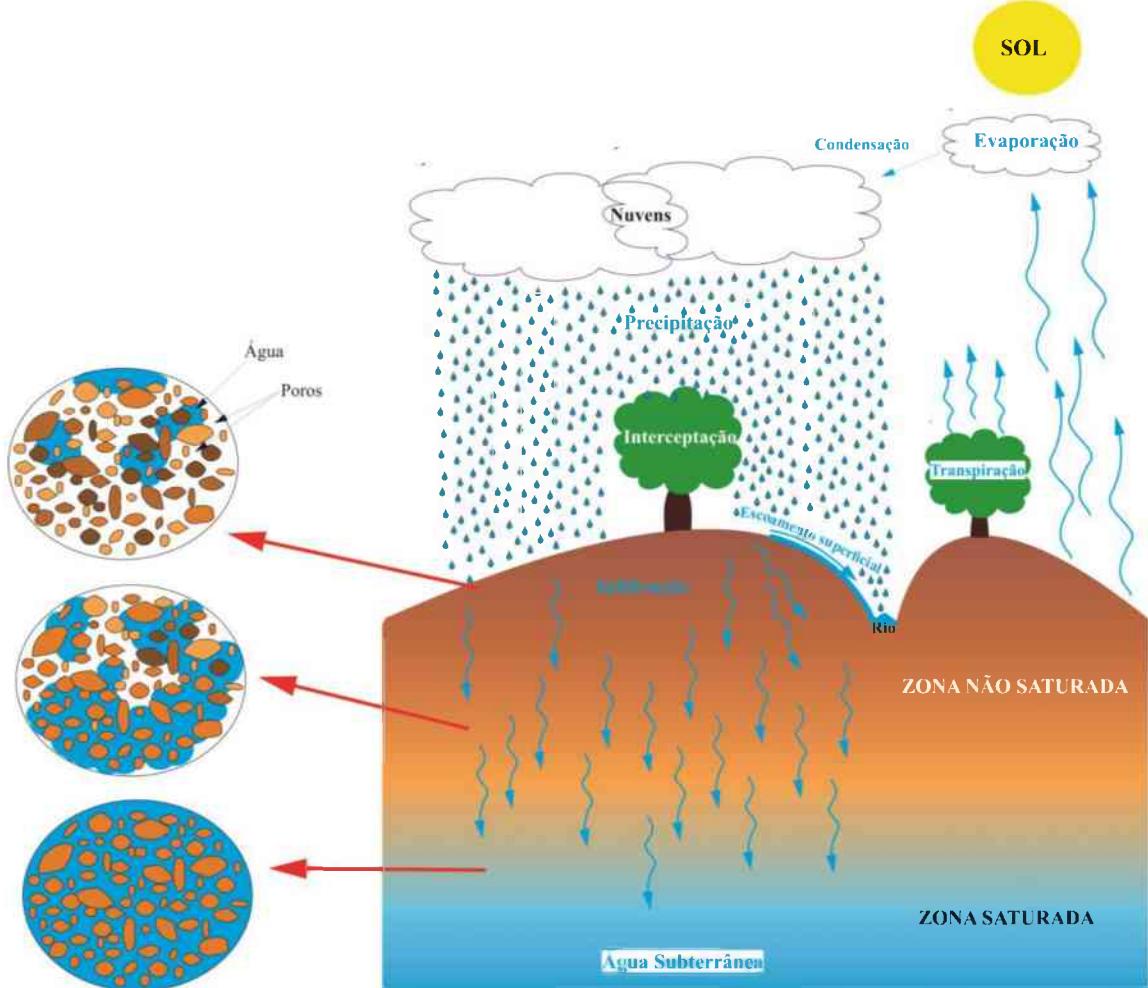
Ao abordar a temática da inundaçāo pode-se integrar com a temática de risco como foi utilizada por Horta (2009), que utilizou os parâmetros geoambientais para mapear os aspectos fisico-ambientais direcionados para a inundaçāo com a determinação das áreas de potenciais riscos do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA.

Desta forma, entende-se que a compreensão dos usos de mapeamento geoambiental com o auxílio de um SIG é fundamental para a gestão das áreas de inundaçāo.

#### **4.4 Dinâmica da água no solo**

Primeiramente é necessário contextualizar a dinâmica da água no ciclo hidrológico para compreender a sua complexidade. Entretanto, neste trabalho destaca-se a dinâmica da água no solo com ênfase no processo de infiltração. A Figura 26 apresenta o ciclo hidrológico, os diferentes estados, locais e fases da água. Ao analisar este ciclo destaca-se a distribuição da água no estado líquido na superfície e na subsuperfície e orienta a conservação, o manejo e o aproveitamento da água.

Figura 26 – Ciclo Hidrológico com ênfase no processo de infiltração de água no solo



Fonte: TEIXEIRA, et al, 2008, p.115, 120. Adaptado: Autor, 2016

Na Figura 26 também é possível visualizar a vegetação interceptando a precipitação, que pode não chegar ao solo ou chegar de forma mais lenta evitando o efeito *splash* (desagregação de partículas pelo impacto da água). Já, no processo de mudança de zona ampliado um fragmento a esquerda da Figura 26 percebe-se o movimento da homogeneização das partículas de água na ocupação dos poros.

Ao alterar-se este ciclo gera um desequilíbrio que pode resultar em modificações no meio hidrológico. Esta relação de desequilíbrio quando envolve a ação antrópica pode ser entendida como impacto, cujas consequências podem ser compreendidas de acordo com Carvalho e Prandini (1998):

O mais grave impacto local da urbanização em áreas de pluviosidade normal é o desequilíbrio do regime hidrológico, caracterizado, frequentemente, pelo rebaixamento do lençol freático em áreas elevadas e sua ascensão em áreas baixas, aterradadas, efeito este acompanhado da exacerbção dos caudais e torrenciais, redução das vazões, de base, contaminação dos aquíferos, poluição dos cursos d'água, erosão, assoreamento e inundação (CARVALHO, PRANDINI, 1998, p. 488).

Assim, na dinâmica hídrica pode-se destacar a infiltração como elemento principal nesta dinâmica de acordo com Römkens, *et al* (1990), por causa que esta determina o fluxo disponível para o escoamento superficial. Contudo, o processo de infiltração está diretamente relacionado com o tipo de solo superficial e o material inconsolidado. Com isto, é possível determinar as áreas de baixa permeabilidade. (RÖMKENS, PRASAD, WHISLER, 1990).

### a) Infiltração

Neste trabalho adota-se o conceito de infiltração de acordo com Tucci (2009) que “(...) é um processo que depende fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presentes no seu interior (TUCCI, 2009, p.337)”. Desta forma, percebe-se que a infiltração depende diretamente da gênese do solo, a cobertura do solo e a quantidade de poros.

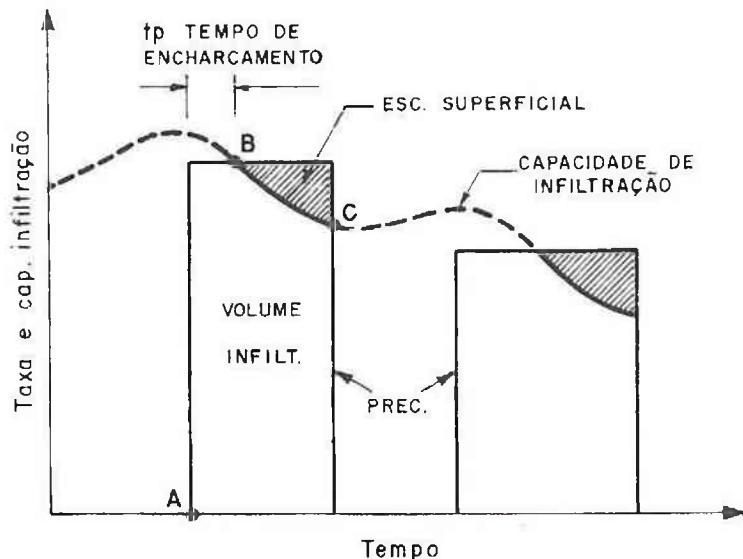
A capacidade de infiltração e a taxa de infiltração são fundamentais para a compreensão da infiltração. De acordo com Nishiyama (1998) *apud* Libardi (1995) é fundamental diferenciar os dois termos.

(...) taxa de infiltração é utilizado para designar a quantidade de água que passa através de uma unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo. A capacidade de infiltração, por sua vez, corresponde ao valor final constante da taxa de infiltração, isto é, quando a água é infiltrada num solo inicialmente seco, a taxa de infiltração decresce e tende a atingir um valor constante (NISHIYAMA, 1998, p. 81)

A Figura 27 apresenta a evolução temporal da infiltração real e da capacidade de infiltração com o episódio da precipitação.

Corroborando com estes parâmetros é fundamental entender as três etapas em que a água chega ao solo de acordo com Nishiyama (1998). *apud* Musgrave & Holtan (1964) A primeira é a entrada superficial formando o selamento superficial do solo e consequentemente a retarda na passagem da água. A Segunda é transmissão através do solo. Nesta ocorre variação de acordo com os diferentes horizontes e características (textura, grau de compactação, migração de finos para camadas inferiores, entre outros). E por fim, a depleção da capacidade de armazenamento no solo aborda que a água no solo depende da porosidade, espessura do horizonte e da quantidade de umidade pré-existente (NISHIYAMA 1998).

Figura 27 – Curvas de capacidades e taxas de infiltração



Fonte: TUCCI, 2009, p. 338

Conforme Da Silva (2012) *apud* Reichardt (1985), o potencial matricial é formado pelas forças capilares e de adsorção oriundas da influência mútua entre a água e as partículas sólidas.

A movimentação da água no interior dos solos não saturados é descrito pela Equação de Darcy (Equação 4.1), que foi deduzida para solos saturados.

$$q = K \cdot g \cdot r \cdot a \cdot d \cdot h \quad (1)$$

Onde:

$q$  = velocidade de Darcy;

$K$  = condutividade hidráulica do solo;

$h$  = carga piezométrica.

Ressalta-se que a condutividade hidráulica varia de acordo com o teor de umidade do solo. Já, a carga piezométrica que duas componentes principais (Equação 4.2):

$$h = \varphi + z \quad (2)$$

Onde:

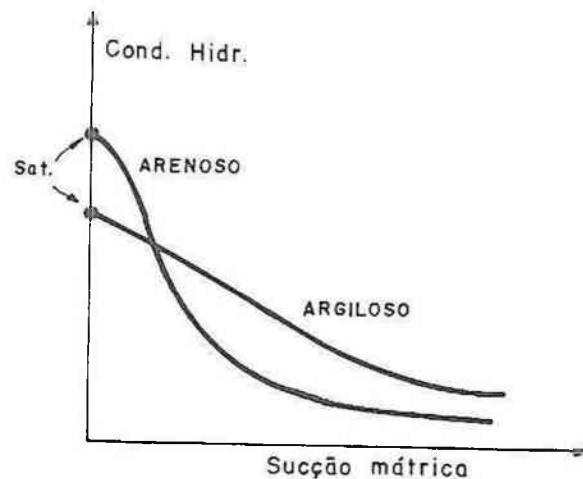
$\varphi$  = potencial mátrico ou de capilaridade;

$z$  = potencial gravitacional (profundidade).

A Figura 28 apresenta a diferença na condutividade hidráulica com a sucção mátrica em solos argilosos e arenosos. Verifica-se na mesma figura que solos argilosos possuem

maior condutividade hidráulica do que os arenosos no estado não saturado. Outra destaque para esta figura é o declínio suave da fração dos solos argilosos e o aumento da sucção mátrica. Isto ocorre porque os poros possuem tamanho médio com um maior tempo de retenção de água. Já, nos solos arenosos os poros são maiores e com o crescimento da sucção mátrica possuem menor tempo de retenção da água.

Figura 28 – Condutividade hidráulica, sucção e textura



Fonte: TUCCI, 2009, p. 340

A condutividade hidráulica possui valores diferentes para variados materiais como apresentado no estudo de Moraes (2012) *apud* Fetter (1988) e apresentado na Figura 29. Verifica-se que a condutividade hidráulica na Figura 29 confirma o gráfico da Figura 28.

Figura 29 – Ordem de grandeza de condutividade hidráulica, em cm/s, para vários tipos de materiais (FETTER, 1988).

Materiais	Ordem de grandeza de condutividade hidráulica, em cm/s	Representação dos grãos
Argila	$10^{-9} - 10^{-6}$	
Silte; Silte arenoso	$10^{-6} - 10^{-4}$	
Areia argilosa	$10^{-6} - 10^{-4}$	
Areia siltosa; Areia fina	$10^{-5} - 10^{-3}$	
Areia bem distribuída	$10^{-3} - 10^{-1}$	
Cascalho bem distribuído	$10^{-2} - 1$	

Fonte: MORAIS, 2012, p. 79. Adaptado: Autor, 2017

Na determinação da infiltração são utilizados diversos métodos, como a equação de Horton, Equação de Green e Ampt, Equação de Philip, Kostiakov-Lewis e entre outros. Vários autores buscam validar essas equações para diferentes locais e realizando uma adaptação local para melhor representar a realidade.

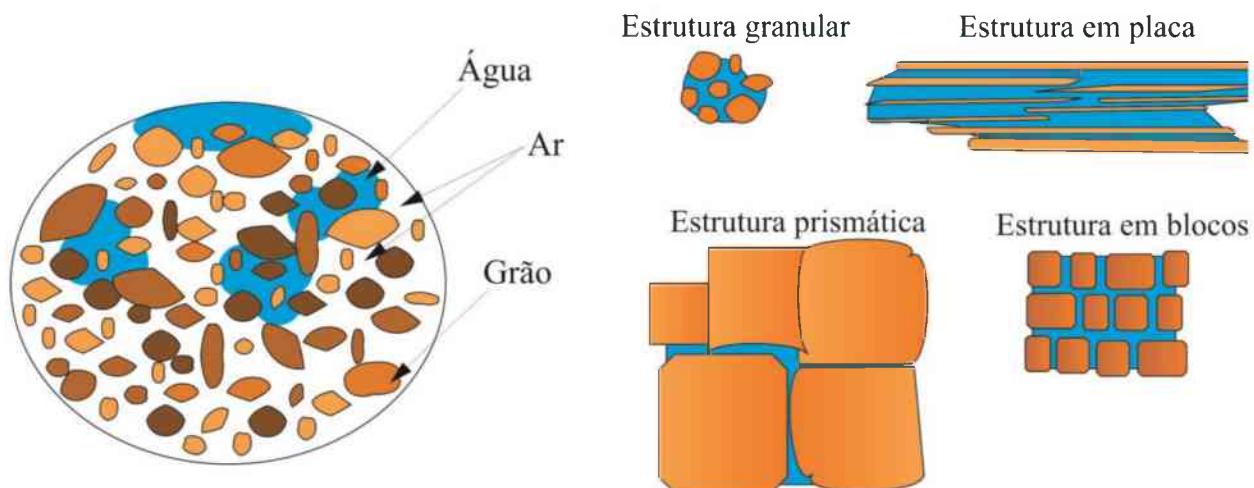
Outro modo de calcular a infiltração é através de ensaios *in situ*, com diferentes equipamentos, sendo que os mais utilizados são método dos duplos anéis concêntricos e o permeâmetro Guelph.

### b) Solos

Para compreender o comportamento da água no solo é necessário entender a sua estrutura. Esta é formada por milhões de partículas de diferentes tipos, diversos tamanhos e por espaços vazios ou poros (Figura 30). A diferenciação dos poros é feita, por exemplo, pelo seu tamanho. Poros com o diâmetro inferior a 0,2 mm são os microporos e os de diâmetro superior são os macroporos. De acordo com Teixeira et al (2008) comprehende-se a importância dos poros:

O principal fator que determina a disponibilidade de água subterrânea não é a quantidade de água que os materiais armazenam, mas a sua capacidade em permitir o fluxo de água através dos poros. Esta propriedade dos materiais conduzirem água é chamada de permeabilidade, que depende do tamanho dos poros e da conexão entre eles (TEIXEIRA, et al, 2008, p. 122).

Figura 30 – Componentes do solo e arranjo espacial das partículas que controlam o tempo de viagem da água no solo:



Fonte: GUERRA e CUNHA, 2013, p.116. Adaptado: Autor, 2017

A estrutura dos solos favorece o fluxo da água como apresentado na Figura 30. A estrutura granular (favorece o fluxo em todas as direções), estrutura em blocos (favorece o

fluxo em todas as direções), estruturas prismáticas (favorece o fluxo no sentido vertical) e estrutura de placas (favorece o fluxo horizontal). (GUERRA, CUNHA, 2013)

Os solos são diferenciados de acordo com Lepsch (2010) principalmente pelas seguintes características:

- A cor, que possibilita uma fácil visualização. Esta é padronizada pela “tabela de Munsell” com três características: matiz, valor e croma;
- A textura com a diferenciação do tamanho das partículas, algumas é possível diferenciar a olho nu;
- A estrutura pode ser compreendida como o tamanho, a forma e aspecto do conjunto dos agregados;
- A consistência é o rompimento da coesão entre as partículas.

Já o estudo de Guerra (2012) *apud* Morgan (1984) faz uma caracterização do solo

(...) à medida que a umidade do solo aumenta, esta acaba atingindo seu limite de liquidez e pode começar a fluir. Por outro lado, dependendo da textura do solo, a umidade pode atuar como um elemento agregador. É o caso, por exemplo, dos solos franco-arenosos (Hartmann e Boodt, 1974), onde o aumento do teor de umidade pode dar maior resistência ao cisalhamento (GUERRA, 2012, p. 26).

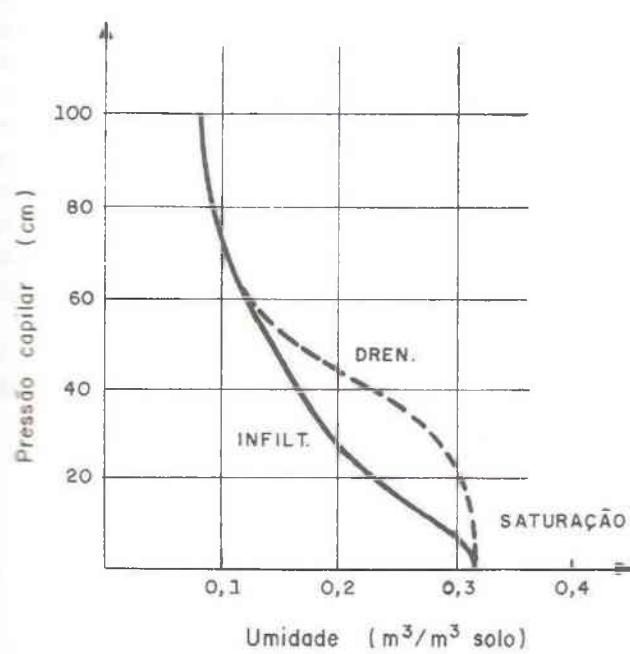
Após, a compreensão da estrutura é necessário compreender que o processo de retenção de água nos solos (Figura 31) são formadas pelas forças mátricas (sucção) que são constituídas de duas forças: capilares (Figura 6.13) e a adsorção.

Conforme Restrepo (2010) *apud* Camapum de Carvalho e Benevelli (2003) o conceito de sucção é a quantidade de energia por unidade de volume imprescindível para se retirar a água do ambiente poroso, o que corresponde à capacidade do solo de reter água.

A curva de característica da água no solo (curva de retenção) é relação da pressão capilar com a umidade do solo. Esta curva é realizada em laboratório por meio de uma drenagem crescente em uma amostra saturada ou o umedecimento contínuo de uma amostra seca. Esta relação da direção do processo resulta na diferença entre o ângulo de contato da água que avança e o da água que recua. Este processo é visualizado na Figura 32 nos processos de drenagem e infiltração (TUCCI, 2009).

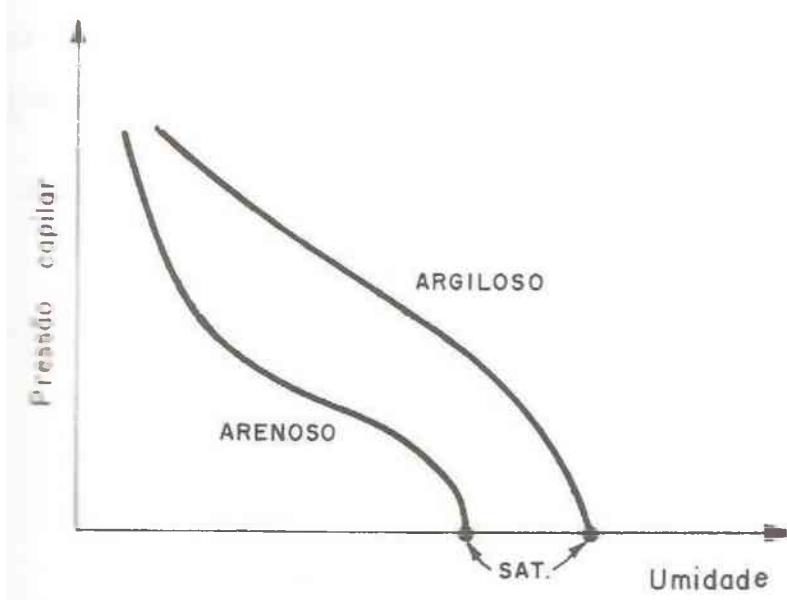
Outro fator que contribui nesta análise é a textura do solo. Visto que, os solos arenosos com maioria de poros grandes, faz com que a redução da umidade seja acentuada. Já, em solos argilosos com poros menores a redução da umidade ocorre de forma gradual (Figura 32) (TUCCI, 2009).

Figura 31 – Curva de retenção da água no solo



Fonte: TUCCI, 2009, p. 361

Figura 32 – Curva de retenção e textura



Fonte: TUCCI, 2009, p. 361

## 5 – METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado o levantamento bibliográfico sobre a temática e a área estudada. Diante do embasamento teórico se constata a complexidade da área de estudo, principalmente pelos diversos aspectos socioeconômicos e ambientais presentes na Bacia do Córrego São Pedro, que aguçam um estudo em diferentes áreas, como a história, a arquitetura, as engenharias, entre outras. Dentre estes trabalhos destaca-se:

- Nishiyama (1998) em sua tese de doutoramento intitulada “Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100 000: aplicação no município de Uberlândia – MG.”
- Andrade (2005) em sua dissertação de mestrado intitulada “Mapeamento Geotécnico preliminar em escala semidetalhe (1:25000) da área de expansão urbana de Uberlândia – MG.”
- Costa (1986) em sua dissertação intitulada “Estudo da colapsibilidade dos solos superficiais de Uberlândia.”
- Dias (2015) em sua dissertação intitulada “Uso de modelo hidrológico em bacia hidrográfica urbana para previsão de enchentes. Estudo de caso: Microbacia do Córrego Jataí - Uberlândia/MG.”
- Beicher (2001) em sua dissertação intitulada “Mapeamento da profundidade da superfície freática do setor central da malha urbana de Uberlândia – MG”

Além de utilizar estes estudos de base, adota-se neste trabalho a metodologia proposta por Zuquette e Gandolfi (2004) para o mapeamento geotécnico. Esta metodologia foi desenvolvida para atender as necessidades brasileiras o mapeamento. O Quadro 5 apresenta de forma resumida os três pilares desta metodologia para definir unidades. Juntamente com o mapeamento geotécnico utiliza-se o mapeamento geoambiental analítico. Conforme a metodologia proposta por Zuquette et al (1997) *apud* FAILACHE (2015), este mapeamento é analítico gerando documentos que são elaborados e analisados individualmente. Este estudo foi baseado nos materiais inconsolidados e nos ensaios do coeficiente de permeabilidade (k).

Quadro 5 – Síntese Metodológica

Coleta de informações	Informações prévias	Referencial bibliográfico
		Histórico de inundações
Obtenção de informações		Dados pluviométricos e pluviográficos
		Imagens de satélites/ carta topográfica
		Trabalho de campo
		Amostragens
Processamento de dados	Tabulações das informações	Ensaios de laboratório e campo.
		Integração dos dados de diversas formas
Análise e interpretação dos dados para a elaboração de documentos cartográficos	Cartas preliminares	Banco de dados
		MDT (Modelo Digital do Terreno)
		Declividade
		Determinação dos pontos de amostragem
	Análises estatísticas	Classificação das Imagens de satélites
		Análise descritiva dos pontos amostrados (Gráficos)
	Análises espaciais	Matrizes
		Carta de Unidades de materiais inconsolidados da bacia do Córrego São Pedro
Mapa geoambiental	Análise Conjunta (integrada)	Sugestão de locais para implantação de medidas estruturais para remediação e prevenção de inundações.

FONTE: ZUQUETTE, GANDOLFI, 2004, P.62 ADAPTADO: Autor, 2015

O levantamento das bases cartográficas primárias, como as imagens de satélite, fotografias aéreas e cartas, foi fornecido pelo Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto – Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. Dentre esse material,

destacam-se as cartas topográficas do Ministério do Exército de 1984 na escala 1:25000 que são:

- Cachoeira do Sucupira: SE-22-Z-B-VI-4-SO
- Córrego das moças: SE-22-Z-B-VI-3-NE
- Pau Furado: SE-22-Z-B-VI-4-NO
- Uberlândia: SE-Z-B-VI-3-SE

De posse dessas cartas e com o auxílio do software Arcgis 10®10.2.2, elaborou-se o mosaico para obter em um único arquivo os limites da área de estudo. Com isso, foi possível realizar a vetorização das curvas de nível e os pontos cotados. Já a vetorização da drenagem, visto que a bacia está inserida na área urbana, foi executada com a utilização de outras duas bases:

- a base de unidades geotécnicas delimitadas por Nishiyama (1998) em sua Tese de Doutoramento intitulada “Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análise e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia - MG”;
- a Imagem de satélite QuickBird QB-CP, escala 1:2000, julho/2007 com verificação no Google Earth.

O traçado do canal principal, que neste caso foi realizada pela geometria, é o Córrego Jataí. Mas, por causa de problemas de inundações foi utilizado o canal principal do Córrego São Pedro. Com isto, foi delimitada a bacia partindo do exutório na parte mais baixa no fundo do vale até a parte mais alta da bacia de acordo com as cotas topográficas até o divisor de água.

Após a delimitação da Bacia, tem-se o início do trabalho de demarcação preliminar das Unidades de Materiais Inconsolidados. Esta se realiza utilizando principalmente as bases já elencadas, que são integradas em uma chave de interpretação (Quadro 6). Entretanto, ressalta-se que todas as unidades mapeadas foram verificadas em campo.

Quadro 6 – Chave de interpretação

Classe	Caracterização da Unidade Geotécnicas (Nishiyama, 1998)	Chave de interpretação	Feições
14	Retrabalhado argiloso II – Cobertura de chapadas (Arg II). Espessuras variáveis entre 5 e 20 metros, textura argilo - siltosa e argilo – arenosa, coloração vermelho – escuro (2,5 YR). Aumento na porcentagem de areia ao longo do perfil, no sentido descendente.	Textura lisa e homogeneia, fragmentada pelo tipo de uso do solo. Localizada a montante na Bacia caracterizando principal área de recarga.	
2	Residuais da Formação Marilia – arenoso I (RMA – ArI). Espessuras superiores a 5 metros, areno – argilosa, coloração em diferentes matizes de vermelho (2,5 YR – 5,0Y R).	Textura rugosa tanto da vegetação quanto no solo exposto. Formas heterogêneas e com uma variação topográfica de aproximadamente 40 metros ao longo de uma distância de 1 km.	
21	Hidromórficos (H): Espessura variáveis entre 2 e 5 metros, textura argilosa e argilo – arenosa, coloração amarelada, ocre e branco acinzentada. Comum presença de camadas orgânicas decimétricas a métricas (raramente superiores a 2 metros).	Textura lisa e rugosa nas vegetações densa e heterogênea. Formas irregulares e alongadas. Localizadas junto os corpos d'água, com uma cor escura comprovada pela presença de matéria orgânica.	
13	Retrabalhado argiloso I – colúvio Serra Geral e Marília (ArgI). Espessuras variáveis entre 2 e 5 metros, textura argilosa a argilo – arenosa, coloração vermelho – escura (2,5YR). Comum a presença de pedregulho e seixos.	Caracterizado por áreas planas com presença de solo exposto. Utilizado como loteamento residencial. Presente próximo à foz do Córrego São Pedro e próximo ao Rio Uberabinha.	
5	Residuais de pequena espessura da Formação Serra Geral (RSG – 1). Espessuras inferiores a 2 metros textura argilo – siltosa, coloração vermelho – escura, arroxada, ocre amarelada. Comumente, apresenta fragmentos arredondados de basalto em avançado estado de decomposição.	Área densamente urbanizada. Textura rugosa e heterogênea. Com uma variação topográfica de aproximadamente 40 metros ao longo de uma distância de 200 metros.	

Dessa forma, obteve-se um mapa preliminar para a conferência e correções necessárias dos limites das unidades de materiais inconsolidados, e definição dos locais para coleta de amostra para os ensaios de laboratório. Para determinar esses pontos, utilizou-se o método das áreas chaves, conforme a metodologia preconizada nos países do leste europeu, descrita em Zuquette (1987).

A amostragem foi definida de forma não aleatória de conveniência, visto que já foram definidas as unidades de material inconsolidados. Outro parâmetro que influencia na escolha local de amostragem foi o uso do solo urbano, que não possibilitou uma amostragem uniforme. O método das áreas chaves pode ser utilizado para uma área mínima de 10 km<sup>2</sup> conforme apresentado na Figura 33. Este método possibilita a produção de dados confiáveis com um número de amostragem reduzido, o que viabiliza os investimentos nos trabalhos de campo e ensaios de laboratório.

Figura 33 – Quantidade mínima de pontos a ser considerada na elaboração de mapeamentos geotécnicos

Finalidade do mapeamento geotécnico	Escala	NÚMERO MÍNIMO DE PONTOS OBSERVADOS POR km <sup>2</sup>						Áreas chaves (mín. 10km <sup>2</sup> )			
		Atributos				Geral					
		Qualitativos		Quantitativos		Escala	Pontos observados por km <sup>2</sup>				
		Metamórficas e ígneas	Sedimentares								
Básico	1:250.000	1/10	Distância entre os pontos observados (m) 3162	1/10	Distância entre os pontos observados (m) 3162	1/10	Distância entre os pontos observados (m) 3162	1:50.000	1/1		
Regional	1:100.000	4/10	1581	3/10	1825	2/10	2236	1:25.000	4/1		
	1:50.000	6/5	912	1/1	1000	3/10	1825				
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/10	1000				
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/10	500				
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316				
	1:5.000	25/1	200	20/1	223	15/1	258				
	1:2.000	40/1	158	35/1	169	25/1	200				

Fonte: ZUQUETTE E GANDOLFI, 2004, P.67

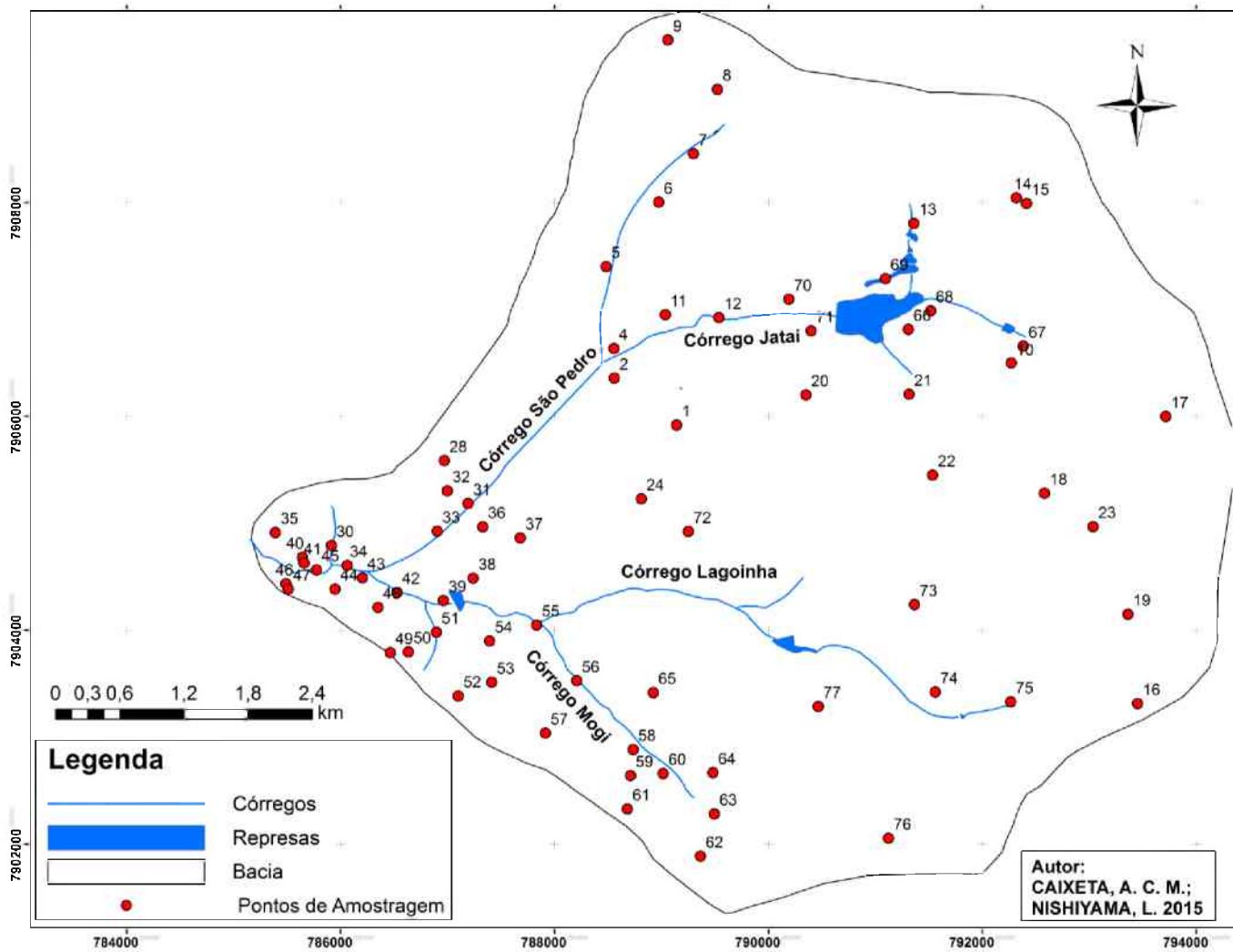
Diante disto, para a área de estudo de 48,201 km<sup>2</sup> foi utilizado a quantidade mínima de pontos calculados que é de aproximadamente 200 pontos. Entretanto, para realizar a amostragem de materiais inconsolidados utilizaram-se as classes anteriormente definidas por Nishiyama (1998). Assim, com base na homogeneidade das unidades, definiram-se dois pontos por km<sup>2</sup> para amostragem de materiais inconsolidados para a caracterização do material inconsolidado. Desta forma, resultaram em aproximadamente 96 pontos de coleta de

amostra. Porém, devido ao custo da coleta, repetitividade e semelhança das amostras, foram selecionados 77 locais de amostragem (Figura 34).

Do total dos 77 pontos escolhidos para a amostragem, 5 pontos não foram amostrados devido à ação antrópica como, por exemplo: existência de aterros com resíduos da construção civil e edificações. Com isto, restaram 72 pontos de amostragem distribuídos pela área das unidades de materiais inconsolidados pré-definidas.

Para padronizar as informações das amostragens e organizar os dados de campo utilizou-se uma ficha de campo, que foi elaborada por Nossa (2004) em sua dissertação de mestrado (Anexo A).

Figura 34 – Locais de amostragem na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



Para a realização das amostragens utilizou-se um trado manual espiral de 4" (Figura 35) até uma profundidade de 100 cm. Também utilizou-se um trado mecânico VULCAN modelo VPS-520 (Figura 36) capaz de atingir a profundidade de 80 cm. A coleta de amostra deformada de solo foi, entretanto, realizada na profundidade de 100 cm, sendo utilizado o trado manual para se atingir a profundidade final a partir dos 80 cm. O Trado mecânico foi necessário em razão de o solo se encontrar muito compactado em áreas urbanas.

Figura 35 – Trado manual



Figura 36 – Perfurador de solo



Em campo observaram-se os seguintes aspectos nos solos amostrados:

- Cor;
- Presença de umidade;
- Grau de compactação (dificuldade de desfazer torrões utilizando a pressão dos dedos);
- Resistência à perfuração com trado (dificuldade de iniciar a perfuração);

Ao retirar as amostras realizou-se uma caracterização preliminar visual e táctil com a aplicação do teste de impregnação e de dilatância. De acordo Nogueira (2005) o teste de impregnação exige inicialmente a preparação de uma pasta de solo. Em seguida, deve-se esfregá-la em toda a palma da mão e por fim colocar a mão embaixo de uma torneira com a vazão moderada e observar como o solo vai sendo retirado. (NOQUEIRA, 2005) (Quadro 7).

Quadro 7 – Quadro resumo do teste de impregnação

Grão	Características
Areia	Pequenos grãos de areia e fazem ruído ao ocorrer fricção na palma da mão
Silte	A mão aparenta uma mancha clara, com pouca fricção sobre a área manchada sob água corrente.
Argila	A mão aparenta uma mancha escura, mesmo com muita fricção sobre a área manchada sob água corrente.

Fonte: NOQUEIRA, 2005, p.37. Adaptado: Autor, 2016

Já para o teste de dilatância, deve-se separar um corpo de prova de aproximadamente 15 mm de diâmetro e com uma consistência mole. Em seguida espalha-se este corpo de prova sobre uma mão com o auxílio de uma espátula para ficar uniforme e sem surgir a lâmina de água. Após esta preparação, inicia-se o ensaio com o movimento de vibração horizontal realizado pelo encontro das duas mãos batendo lateralmente. Ao repetir esse movimento, observa-se a formação de uma lâmina de água superficial e o tempo para a sua formação. Após isso, a mão deve ser curvada realizando uma leve compressão sobre a amostra, observando o desaparecimento da lâmina de água, conforme observado no Quadro 8 (NOQUEIRA, 2005).

Quadro 8 – Parâmetros para o Teste de Dilatância

Descrição da Ocorrência Durante		Dilatância
Vibração	Compressão	
Aparecimento	Desaparecimento	
<b>Não há mudança visível</b>		Nenhuma
Lento	Lento ou Não Ocorre	Lenta
Rápido	Rápido	Rápida

Fonte: Nogueira, 2005, p.37. Adaptado: Autor, 2016

Este teste gera informações da velocidade do movimento da água contida na amostra e caracteriza solos arenosos, siltosos e argilosos. O rápido aparecimento da lâmina de água são características dos solos arenosos. Ao diminuir um pouco a velocidade do surgimento da

lâmina de água, atingindo uma velocidade mediana, caracterizam-se os solos siltosos. E por fim, a velocidade é lenta é característica dos solos argilosos.

## 5.1 CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

As amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Geotecnia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia para realização de ensaios de determinação da massa específica dos grãos, granulometria e limites de Atterberg. Todos os ensaios foram realizados de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Para execução do ensaio granulométrico, utilizaram-se as normas NBR 7181/84, ABNT NBR 7250/1982 e ABNT NBR 6508/1984. A norma NBR 7181/84 analisa o solo utilizando uma combinação de peneiramento e sedimentação. A Figura 38 apresenta a etapa do ensaio da sedimentação. ABNT NBR 7250/1982 identificação e descrição de amostras de solo. ABNT NBR 6508/1984 determinação de massa específica que passa na peneira de 4,8 mm utilizando picnômetro (Figura 37).

Figura 37 – Massa específica dos sólidos



Figura 38 – Granulometria do solo



Foto: Autor, 2016

Os limites de liquidez e de plasticidade foram obtidos, respectivamente, mediante a aplicação das Normas da ABNT NBR 6459/84 e NBR 7180/84. A Norma NBR 6459/84 é o método para determinação do limite de liquidez. A Figura 39 apresenta o equipamento denominado casagrande e o cinzel, que são utilizados conforme descrito na norma.

Já a norma NBR 7180/84 apresenta o método para determinação do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos. A Figura 40 apresenta a

placa de vidro de superfície esmerilhada, o gabarito e as cápsulas para o armazenamento das amostras na estufa.

Figura 39 – Limite de liquidez;



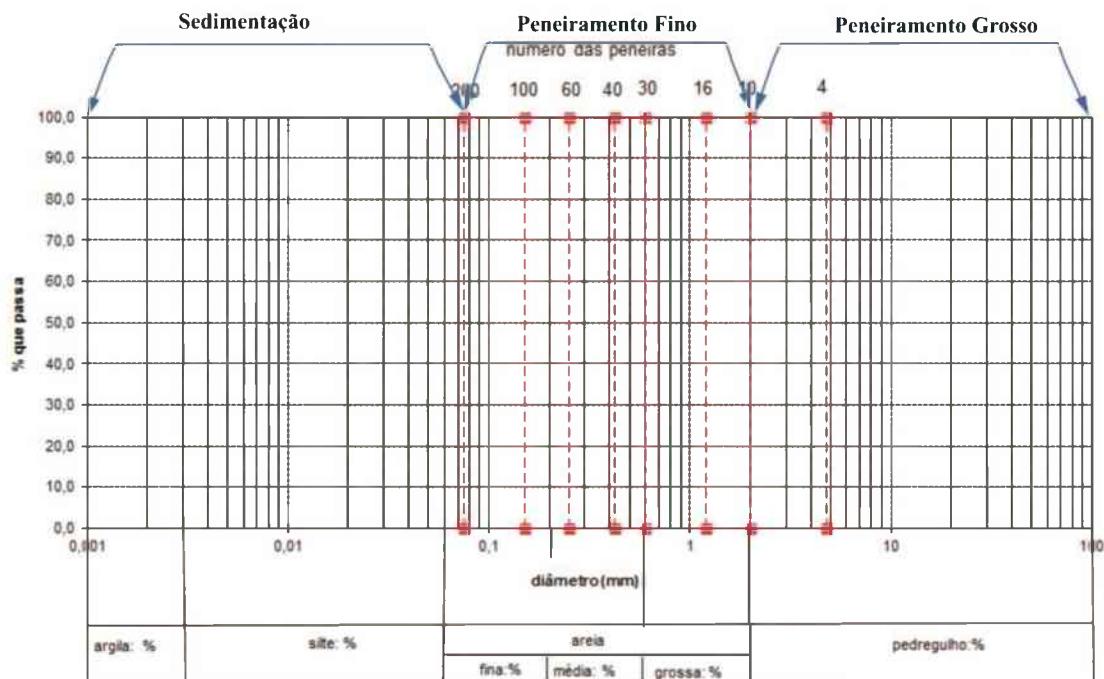
Figura 40 – Limite de plasticidade



Foto: Autor, 2016

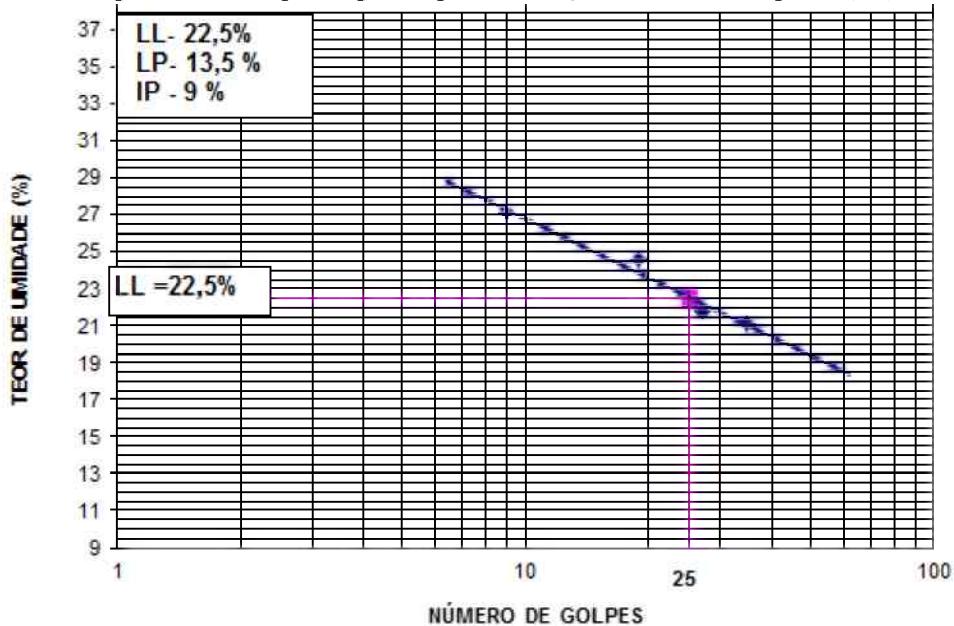
Após a realização dos ensaios, gerou-se a curva granulométrica, a partir da qual foi possível obter a composição textural dos solos amostrados. A Figura 41 é expressa em porcentagem de argila, silte, areia (fina, média e grossa) e pedregulho. A Figura 42 apresenta um exemplo de gráfico empregado para a obtenção do limite de liquidez de acordo com a norma já apresentada.

Figura 41 – Gráfico empregado para a inserção da curva granulométrica, onde podem ser observadas o número das peneiras (parte superior) e diâmetro dos grãos (parte inferior).



Fonte: Laboratório de Geologia – UFU. Adaptado: Autor, 2014

Figura 42 – Exemplo de gráfico para a obtenção do Limite de liquidez (LL)



Fonte: Laboratório de Geologia – UFU. Adaptado: Autor, 2014

Os limites consistência, também conhecidos limites de Atterberg, evidenciam os diferentes estados de consistência dos solos em função de seu teor de umidade, os quais podem ser: líquido, plástico, semi-sólido e sólido. Os teores de umidade que correspondem a mudanças de estado são denominados: Limite de Liquidez (LL); Limite de Plasticidade (LP) e

Limite de Contração (LC). O LL corresponde ao teor de umidade que delimita o estado líquido do estado plástico, o LP delimita o estado plástico do semisólido e o LC estabelece a fronteira entre os estados semisólido e sólido.

De posse dos valores dos limites de consistência é possível calcular outros dois índices: o índice de plasticidade (IP) e o índice de contração (IC), também conhecido como índice de consistência.

O índice de plasticidade (IP) representa a quantidade de água necessária (teor de umidade) para que o solo passe do estado plástico para líquido. Assim os solos podem ser classificados de acordo com esse índice em:  $IP = 0$  (solo não plástico);  $1 < IP < 7$  (solo pouco plástico);  $7 < IP < 15$  (solo de média plasticidade) e  $IP > 15$  (solo muito plástico).

De posse dos resultados dos ensaios de granulometria e limites de consistência foi possível realizar a classificação dos solos e estabelecer as unidades de materiais inconsolidados de acordo com a classificação textural e limites de consistência (argiloso, siltoso, arenoso, argilo-arenoso, areno-argiloso, argilo-siltoso, etc.) e a sua espacialização na bacia do Córrego São Pedro.

### 5.1.1 Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)

Neste trabalho adotou-se a classificação unificada, embora ela seja utilizada principalmente por geotécnicos, que trabalham em barragens, foi bastante útil para o entendimento das características mecânicas e de comportamento dos solos da área de estudo.

De acordo com Pinto (2006), o sistema de Classificação Unificada foi elaborado pelo Professor Casagrande no qual os solos são classificados em grandes três grupos: solos grossos, finos e turfas. A representação dos solos é feita por um conjunto de duas letras que estão apresentadas no Quadro 9, menos o solo orgânico.

Quadro 9 – Terminologia do Sistema Unificado

<b>Tipo principal do solo</b>	<b>Dados complementares dos solos</b>
<b>G</b> = pedregulho	<b>W</b> = bem graduado
<b>S</b> = areia	<b>P</b> = mal graduado
<b>M</b> = Silte	<b>H</b> = alta compressibilidade
<b>C</b> = Argila	<b>L</b> = baixa compressibilidade
<b>O</b> = solo orgânico	

FONTE: PINTO, 2006, P. 64 ADAPTADO: Autor, 2016

### a) Granulação grosseira

Solos de granulação grossa segundo a SUCS são classificados de acordo com a sua fração granulométrica predominante como pedregulho ou areia, seguido pelas suas características secundárias. A primeira análise é se a amostra tem poucos finos (menos do que 5% passando na peneira nº 200), desse modo deve-se verificar a sua composição granulométrica. Os solos granulares podem ser classificados como “bem-graduados”, ou seja, com os diâmetros das partículas dentro de um pequeno intervalo de variação e “malgraduados”, com as partículas se situando em uma extensa faixa de diâmetros. Para quantificar esses solos emprega-se tanto o “coeficiente de não uniformidade” quanto o “coeficiente de curvatura” (PINTO, 2006). O coeficiente de não uniformidade é expresso por:

$$CNU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3)$$

Onde:

$D_{60}$  Corresponde ao diâmetro abaixo do qual se situam 60% (% peso) das partículas;

$D_{10}$  Também conhecido como diâmetro efetivo. Representa o ponto característico da curva granulométrica que corresponde ao ponto de 10%, ou seja, 10% das partículas possuem diâmetros inferiores a ele.

Já, o coeficiente de curvatura é expresso por:

$$CC \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (4)$$

De acordo com Pinto (2006) o solo bem-graduado é quando o valor de CC está entre 1 e 3. Quando este valor está abaixo de 1 ocorre uma descontinuidade na curva granulométrica. Ao passo que no valor acima de 3 a curva tende a ser uniforme na parte central (PINTO, 2006).

Se a amostra, na faixa de granulação grosseira, tiver entre 5 à 12% de finos, o sistema apresentará duas características secundárias (uniformidade granulométrica e propriedade dos finos), resultando em uma classificação intermediária (PINTO, 2006).

Por fim, quando o solo de granulação grosseira obtiver mais de 12% de finos é necessário compreender as propriedades dos finos, que são definidas pela carta de plasticidade (PINTO, 2006).

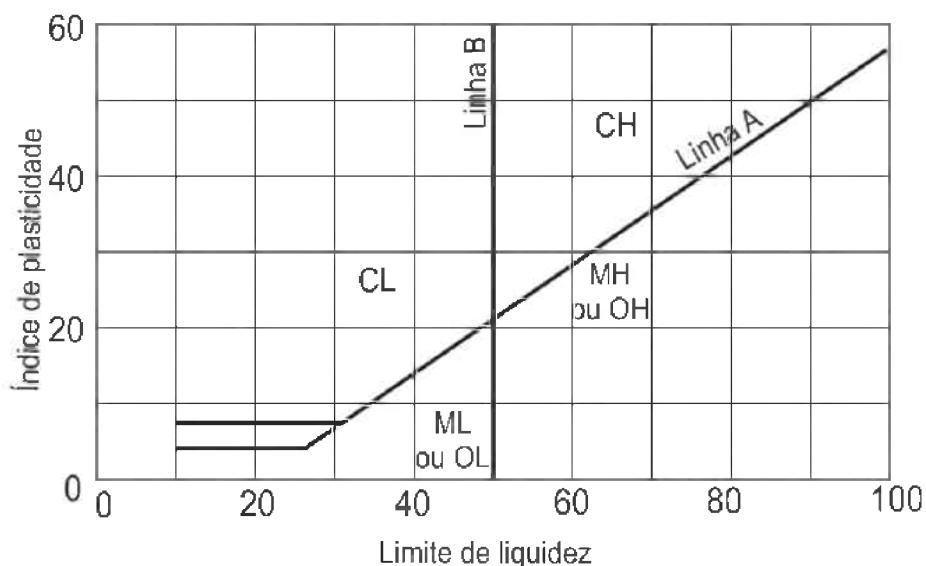
### b) Granulação Fina

A granulação fina é representada pelo o silte (M), argila (C) e solo orgânico (O), que são classificados de acordo com a fração granulométrica (silte e argila). Entretanto, o comportamento da argila é analisado pelo seu teor de argila e pela sua atividade com os índices de consistência (PINTO, 2006).

O índice de plasticidade (IP) de acordo com a classificação de Casagrande *apud* Pinto (2006) para os solos argilosos apresentam pontos acima da “Linha A” na Figura 43. Já os solos siltosos estão apresentados abaixo da “Linha A”. Esta linha é representada pela seguinte equação da reta:

$$IP = 0,73(LL - 20) \quad (5)$$

Figura 43 – Carta de Plasticidade

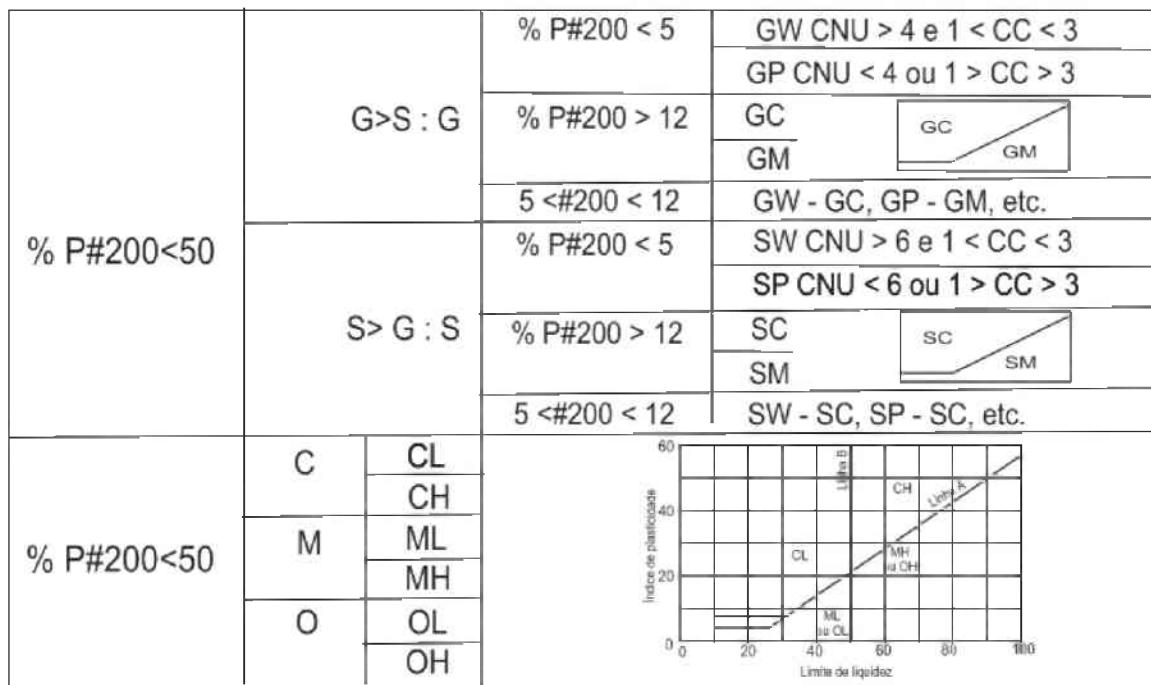


Fonte: PINTO, 2006, p. 68

A compressibilidade é uma característica complementar no solo fino, ou seja quanto maior o seu Limite de Liquidez mais compressíveis serão os solos. Sendo este valor superior a 50 a compressibilidade (H) será alta, já se for inferior é de baixa compressibilidade (L). Esta propriedade também está apresentada na Figura 5.12 na “Linha B” (PINTO, 2006).

Quando o índice fica próximo das linhas “A” e “B” ou sobre a faixa de IP 4 a 7 são consideradas as duas classificações. Dessa forma, a classificação fica sendo a mais completa possível. A Figura 44 apresenta, de acordo com Pinto (2006), o esquema da classificação do Sistema Unificado.

Figura 44 – Esquema do Sistema Unificado



Fonte: PINTO, 2006, p. 69

## 5.2 Interpolação

A interpolação é uma ferramenta de adquirir informações de locais onde não é possível obter dados. Porém, para iniciar a interpolação é necessário ter informações conhecidas. Isto é, de acordo com Miranda (2005): “O processo de interpolação está baseado na premissa de que, em média, valores de amostras próximas são mais prováveis de serem parecidos do que valores de amostras distantes umas das outras” (MIRANDA, 2005, p. 266).

O *software* utilizado para esta interpolação, como já foi abordado anteriormente, é o ArcGIS10®10.2.2. Dentre as ferramentas que este programa oferece tem-se o “*Spatial Analyst Toolbox*”, que é um conjunto de ferramentas de análise espacial e modelagens. Este conjunto oferece vários sub-conjuntos de funções, que dentro destas funções está a interpolação (“*Interpolation*”). Esta gera superfícies contínuas utilizando valores pontuais amostrados. Dentre os métodos de interpolação existem diversos dependendo do seu objetivo, a quantidade de amostras e a área de estudo.

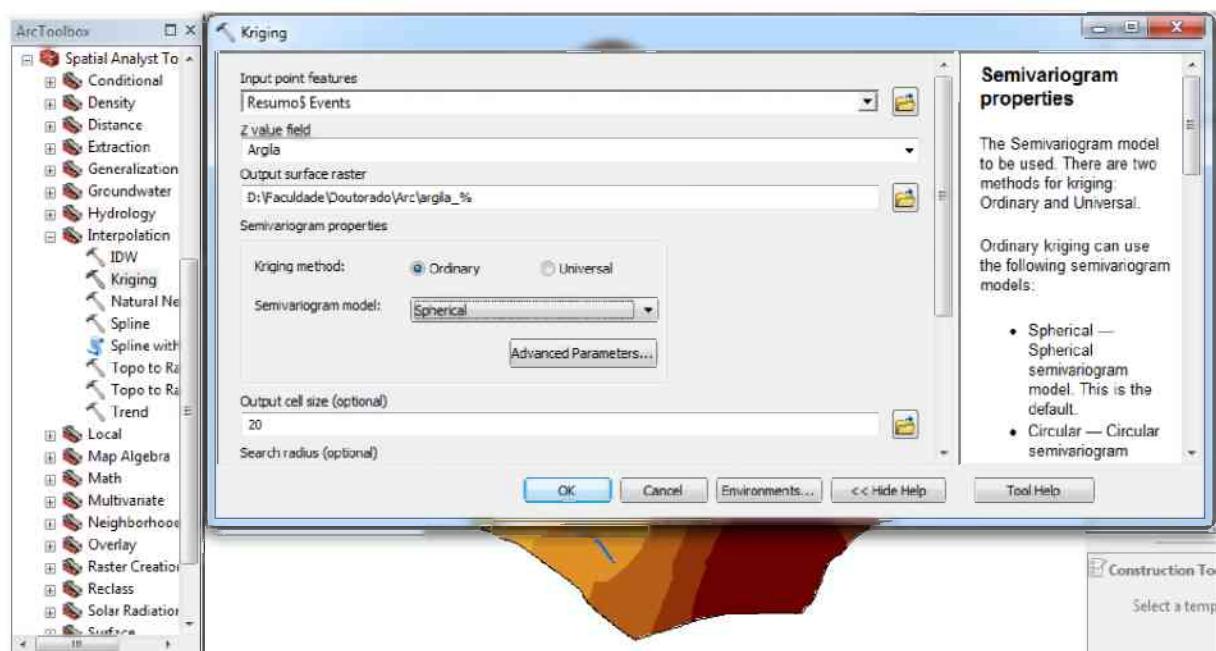
Os métodos que representam melhor os dados geográficos são: o Inverso da Distância (*IDW*), *Kriging* e *Spline*. O método IDW fundamentalmente é o inverso da distância elevada a uma potência matemática. O método *Spline* faz estimativas de valores altos e baixos onde não estão incluídos valores das amostras. E por fim, o método *Kriging* é o mais utilizado e o mais complexo para a espacialização de dados geográficos.

O método de “*Krigagem*” é linear, não tendencioso e sua diferenciação dos outros métodos é a busca por minimizar a variância do erro. Este interpolador apresenta um semivariograma, que é calculado utilizando amostras conhecidas gerando um gráfico denominado semivariograma experimental. Para ajustar este gráfico utilizam-se os modelos teóricos, conforme a amostra analisada. E por fim, aplica-se o interpolador *Kriging* com o método universal, que interpola valores não existentes (MIRANDA, 2005).

Neste trabalho utiliza-se o método *Kriging Ordinary* (não ocorre tendência nos dados) com o modelo de semivariograma esférico, que é o padrão e obteve maior heterogeneidade nos dados. A Figura 45 apresenta a janela de interpolação no ArcGIS10® 10.2.2 com os parâmetros para a interpolação das porcentagens dos grãos de argila. Nota-se que, na mesma Figura, no canto esquerdo, está a barra de ferramentas com os grupos de ferramentas já elencados.

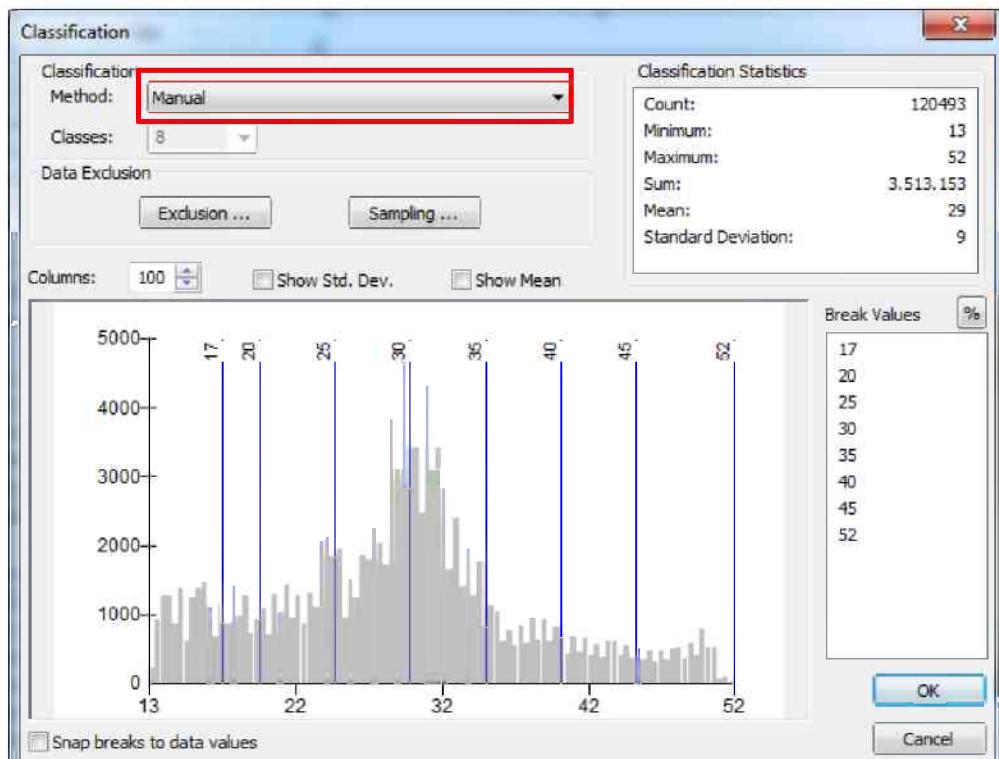
Após a interpolação ocorre a reclassificação de forma manual das cores e dos valores da legenda para valores inteiros. A Figura 46 apresenta a janela de reclassificação do *shape* que foi interpolado. Verifica-se nesta mesma Figura um hidrograma com os dados concentrados nos valores do centro, os valores estatísticos e o método de classificação (este está realçado de vermelho).

Figura 45 – Ferramenta ArcGIS10® 10.2.2 para interpolação dos dados de solo de acordo com a classificação granulométrica.



Elaborado: Autor, 2017

Figura 46 – Ferramenta ArcGIS10® 10.2.2 para reclassificação dos dados de solo.

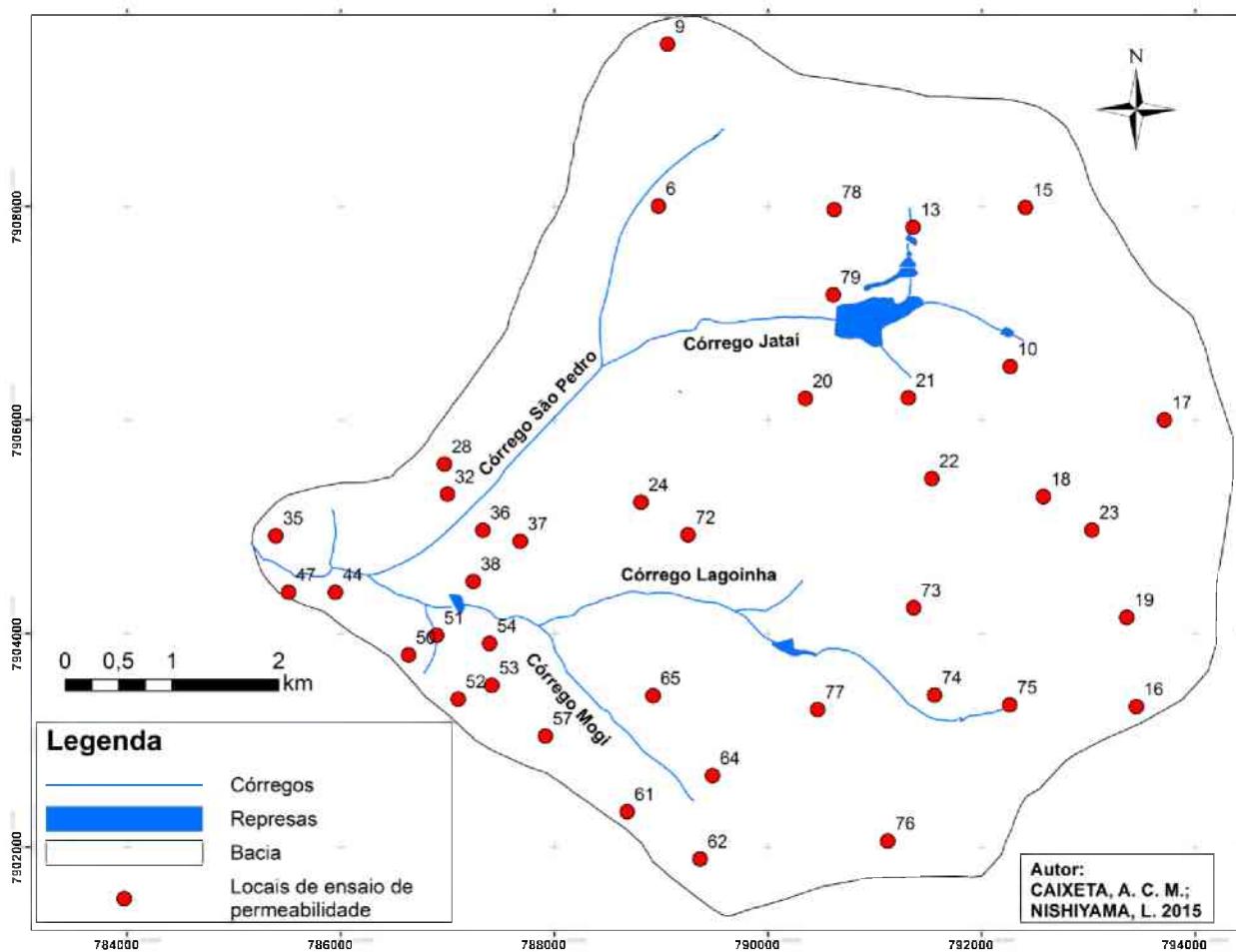


### 5.3 ENSAIO *IN SITU* COM PERMEÂMETRO DE GUELPH

A delimitação das unidades homogêneas antecederam a realização dos ensaios de infiltração de água com uso de permeâmetro Guelph. Ressalta-se que na unidade Orgânico/Hidromórfico não foi realizado este ensaio em razão de o solo se encontrar saturado ou com uma significativa saturação. Tal condição de saturação implicaria na execução do ensaio de bombeamento, sendo este adequado para a situação em que o trecho ensaiado se situa abaixo do nível d'água. Outra unidade de destaque é a Transportado Cobertura de Chapada que está no divisor de água, na área de recarga e possui significativos locais não edificados.

A Figura 47 apresenta os 40 locais onde foram realizados os ensaios com o Permeâmetro Guelph. Percebe-se que próximo à foz do Córrego São Pedro há poucos pontos selecionados por causa da urbanização. A região próxima ao divisor de água não possui áreas verdes não facilitando a realização do ensaio.

Figura 47 – Pontos do ensaio do Permeâmetro Guelph.



Elaborado: Autor, 2015

Para definir o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) utilizou-se o permeâmetro de Guelph. Soto (1999), Costa e Nishiyama (2007), Aguiar (2001) e Santos (2008) entre outros autores utilizam o equipamento para obter a permabilidade do solo sob diferentes usos do solo e aplicações. Dessa forma, percebe-se que este equipamento pode ser utilizado para a obtenção do coeficiente de permeabilidade voltado para diversas finalidades, tanto em áreas rurais quanto em áreas urbanas.

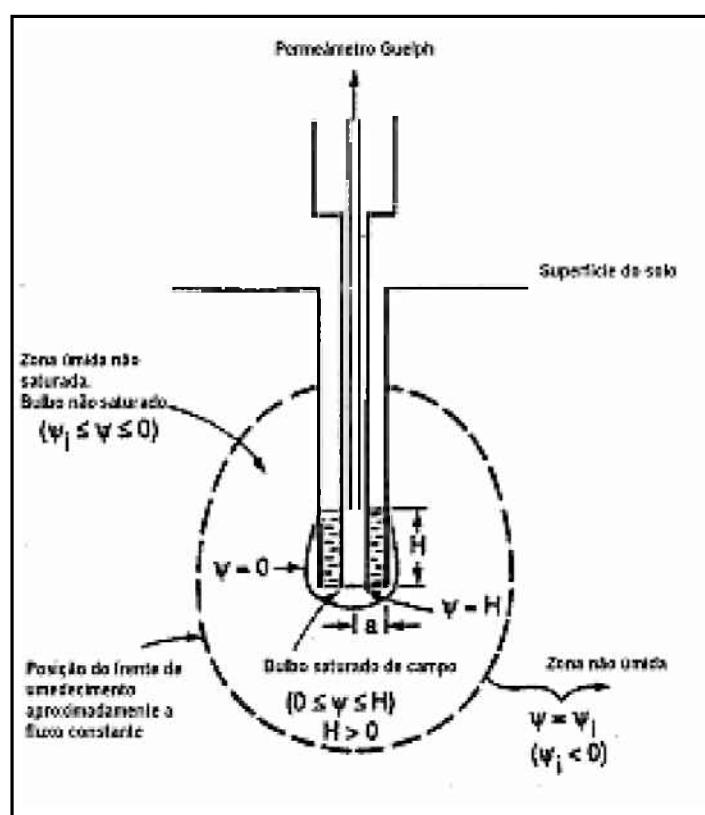
De acordo com Soto (1999), o permeâmetro Guelph foi desenvolvido por Reynolds e Elrick e aprimorada em 1985 na University of Guelph, Canadá. Este equipamento é utilizado de forma simples em campo requerendo apenas furos realizados a trado (Figura 49), com um regime permanente de suprimento de água e com cargas piezométricas constante.

Os tubos de ar e interno estão conectados entre si para conduzir água deste os reservatórios até o furo de sondagem. Este sistema está constituido para manter uma altura constante de água  $H$  no furo de sondagem através do sistema de tubo de Mariotte. O reservatório em conjunto (interno e externo), consta de um sistema de depósito de água e de medição da vazão de fluxo de água. A ponteira do

permeâmetro serve como um dissipador de energia de saída de água, controladas por saídas nervuradas, que evitam também a erosão do solo no furo da sondagem. (SOTO, 1999, p.40 e 41)

A Figura 48 apresenta o bulbo saturado e não saturado no entorno do furo do ensaio. Percebe-se que no solo próximo a área da ponteira o solo já está praticamente todo saturado, mas este não atinge a superfície do solo.

Figura 48 – Bulbo saturado e não saturado ao redor do furo de sondagem durante o ensaio a carga constante.



Fonte: Soto, p. 45, 1999

Este equipamento gera dados confiáveis para a determinação da condutividade hidráulica não saturada do solo ( $k$ ). O permeímetro Guelph pode ser utilizado tanto na superfície do solo quanto no perfil de solo com o fornecimento de água conservando a carga hidráulica constante e conhecida.

Para realizar os ensaios na área da bacia do córrego São Pedro utilizaram-se os seguintes materiais: o trado caneco; o permeímetro Guelph (Figura 49); água e materiais de anotação. O trado empregado possui um raio 3,17 cm. Primeiramente, deve-se realizar a

preparação para o ensaio abastecendo o reservatório do permeâmetro com água limpa. No caso específico da área de estudo os ensaios foram executados nas profundidades de 10 e 40 centímetros (limite do equipamento empregado).

Ao realizar a preparação é necessário realizar a escarificação da parede do furo com a finalidade de reduzir o efeito de espelhamento produzido pelo movimento do trado, porém com devido cuidado para não alterar demasiadamente o solo do entorno. Na instalação e posicionamento do equipamento também deve-se ter cuidado para não derramar água no furo e no momento de recarregar o equipamento (SOTO, 1999).

Figura 49 – Trado (esquerda) e Permeâmetro Guelph (direta)



Foto: Autor, 2016

Uma vez instalado o equipamento, aguarda-se o início do fluxo constante de água no solo para iniciar as leituras. Este tempo é determinado pela depleção constante do nível d'água no reservatório, por um intervalo de tempo fixo, por três leituras consecutivas. Seguido deste intervalo iniciam-se as leituras por um período mínimo de 30 minutos. De acordo com a Figura 50 observam-se os intervalos de tempo de leitura, as leituras e as características no equipamento na parte superior da Figura.

Figura 50 – Exemplo da Planilha apresentando o tempo acumulado de leituras (min) e as leituras na graduação do reservatório do permeâmetro de Guelph (cm)

<b>PERMEÂMETRO DE GUELPH "IN SITU"</b>							
			ENSAIO N°:		1	P28	
Área tubo externo - cm <sup>2</sup>	36,19	Temp. - 25 °C		visc20 (x 10-6g.s/cm <sup>2</sup> )	10,29		
Área tubo interno cm <sup>2</sup>	3,17	Prof. - 10 cm		visct	9,13		
Vol tubo externo cm <sup>3</sup>	299,2	R. furo (a) - cm e H/r		3,17	0,95		
Vol tubo interno cm <sup>3</sup>	24,11			C	0,58		
Vol ambos reserv cm <sup>3</sup>	39,36	H	3	alfa	0,12		
<b>Leitura do ensaio (H) de:</b>							
Nº	Tem(min)	Int.tem (min)	h-cm	Dh - cm	Q - cm <sup>3</sup> /s	Kt	K20
EURO - 1		0	39,4	0	0,0000		
	1	1	39,5	0,10	0,0603	1,5E-04	
	2	1	39,6	0,10	0,0603	1,5E-04	1,3E-04
	3	1	39,7	0,10	0,0603	1,5E-04	1,3E-04
	4	1	39,8	0,10	0,0603	1,5E-04	1,3E-04
	5	1	39,9	0,10	0,0603	1,5E-04	1,3E-04
	10	5	40,5	0,60	0,0724	1,8E-04	1,6E-04
	15	5	40,8	0,30	0,0362	9,0E-05	8,0E-05
	20	5	41,2	0,40	0,0483	1,2E-04	1,1E-04
		30	42,2	1,00	0,0201	5,0E-05	4,5E-05
<b>Coeficiente de permeabilidade médio (k) -</b>					<b>cm/s</b>	<b>1,2E-04</b>	

Fonte: Laboratório de Geologia – UFU

Após os ensaios, houve a interpretação dos resultados, que foram baseadas no método teórico desenvolvidos por Reynolds e Elrick (1983) baseado na equação de Richards (1931) para fluxo permanente num furo cilíndrico. Este fluxo pode ser compreendido pela equação onde a vazão (Q) (Equação 6) é:

$$Q = R \cdot x \cdot A \quad (6)$$

Sendo,

$Q$  = vazão do regime permanente;

$R$  = razão da vazão constante obtida durante os ensaios;

$A$  = área do reservatório do permeâmetro utilizado ( $36,19 \text{ cm}^2$ ).

Na determinação os parâmetros de infiltração dos solos utiliza-se o método de uma carga hidráulica (COSTA E NISHIYAMA, 2007 *apud* ELRICK *et al.*, 1989). Esse método consiste em aplicar uma altura de carga hidráulica  $H$  constante e quando o regime permanente é atingido, a vazão  $Q$  e a condutividade hidráulica de campo ( $K_{fs}$ ) (Equação 7) são determinados por:

$$K_{fs} = \frac{CQ}{(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi H / \alpha)} \quad (7)$$

sendo,

$C$  é o parâmetro fator de forma, que depende da relação  $H/a$  e do tipo do solo;

$H$  é altura da carga hidráulica;

$a$  é o diâmetro do orifício aberto pelo trado no solo.

A determinação do fator “ $C$ ” de acordo com Soto (1999) é fornecido pela *Soilmoisture Equipment Corp*, com três classes de solos de acordo com a macroporosidade e textura. As classes de solos fornecidas são *sands*, *structured loams and clays* e *unstructured clay*. Já a definição do parâmetro  $\alpha$  é estimada inicialmente por avaliação visual *in situ* da macroporosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc.) e textura do solo, utilizando o Quadro 10.

Quadro 10 – Valores de  $\alpha$  sugeridos para tipos de solo

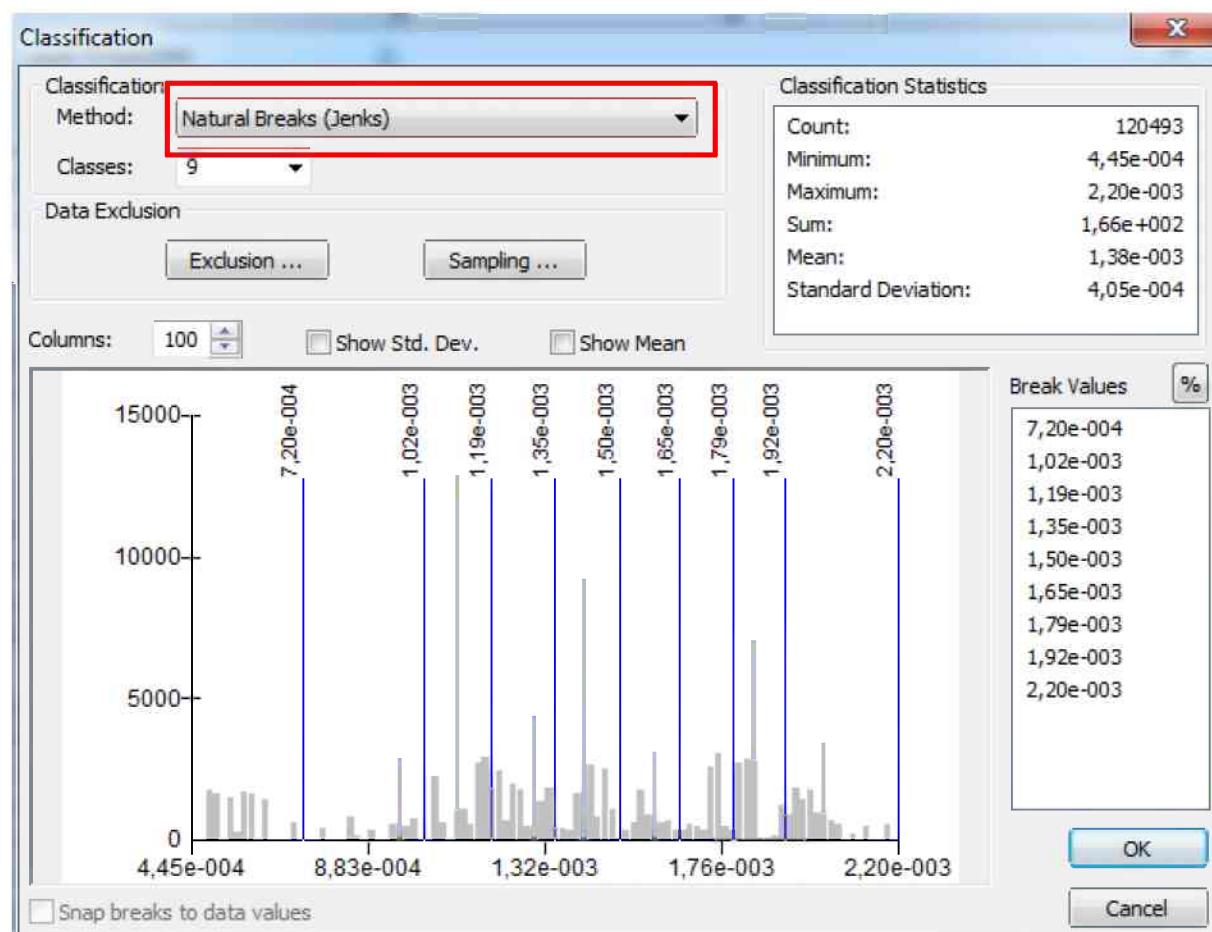
$\alpha$ (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de Solo
0,01	Argilas compactas (aterros, liners, sedimentos lacustres e marinhos).
0,04	Solos de textura fina, principalmente sem macroporos e fissuras.
<b>0,12</b>	<b>Argilas até areias finas com alta e moderada quantidade de macroporos e fissuras.</b>
0,36	Arcia Grossa inclui solos com macroporos e fissuras.

FONTE: SOTO, p.49, 1999

De acordo com a granulometria encontrada o valor adotado para  $\alpha$  foi 0,12 para todas as unidades. Após determinar os dados de permeabilidade interpola-se estes valores para as profundidades de 10 e 40 cm. Esta interpolação também foi realizada pelas ferramentas já apresentadas do software *ArcGIS10® 10.2.2* com o método *Kriging – Ordinary – Esférico*.

Entretanto, ao realizar a reclassificação da legenda utiliza-se natural breaks, que os intervalos são agrupados de acordo com as amostras, em razão de sua heterogeneidade. A Figura 51 apresenta a janela de reclassificação das amostras com os intervalos da legenda, que retrata mais adequadamente a interpolação.

Figura 51 – Ferramenta ArcGIS10® 10.2.2 para reclassificação dos dados de permeabilidade



De posse dos resultados quantitativos e qualitativos de ensaios de laboratório, ensaios *in situ* e observações de campo, foram estabelecidas a caracterização da cobertura inconsolidada e a capacidade de permitir a infiltração da água da chuva. Os resultados da análise e da integração de informações acerca do meio físico foram apresentados sob a forma de cartas interpretativas, em escala 1:25.000. Assim, com a espacialização das características da área de estudo foi possível sugerir áreas de implantação de estruturas para infiltração das águas pluviais.

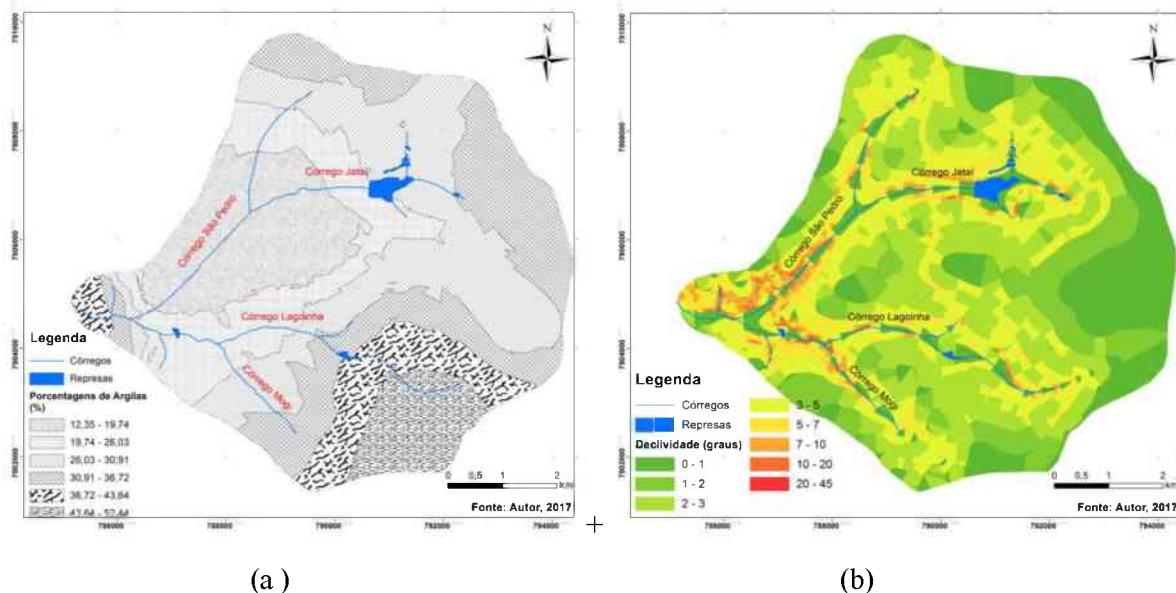
## 5.4 MAPAS TEMÁTICOS

Os mapas temáticos foram produzidos de acordo com os parâmetros físicos do solo, principalmente alguns mapas relevantes da área estudada. Visto que, há material existente que deve ser imerso no trabalho, mas adaptada a área de estudo e completado com dados adjacentes. Por isso, segue o passo à passo de adequação, sobreposição e interpolação de bases topográficas relevantes do meio físico.

### a) Escoamento superficial:

Nesta carta ocorreu a sobreposição, no programa *ArcGIS10® 10.2.2*, pela integração das unidades de materiais inconsolidados levando-se em consideração o teor de argila com a declividade em graus. Com isto, foi possível determinar locais de maior velocidade do escoamento superficial e assim, prever as porções da área de estudo mais favoráveis a geração do escoamento superficial (Figura 52).

Figura 52 – Mapas de Porcentagem de Argila (a) e declividade em graus (b)



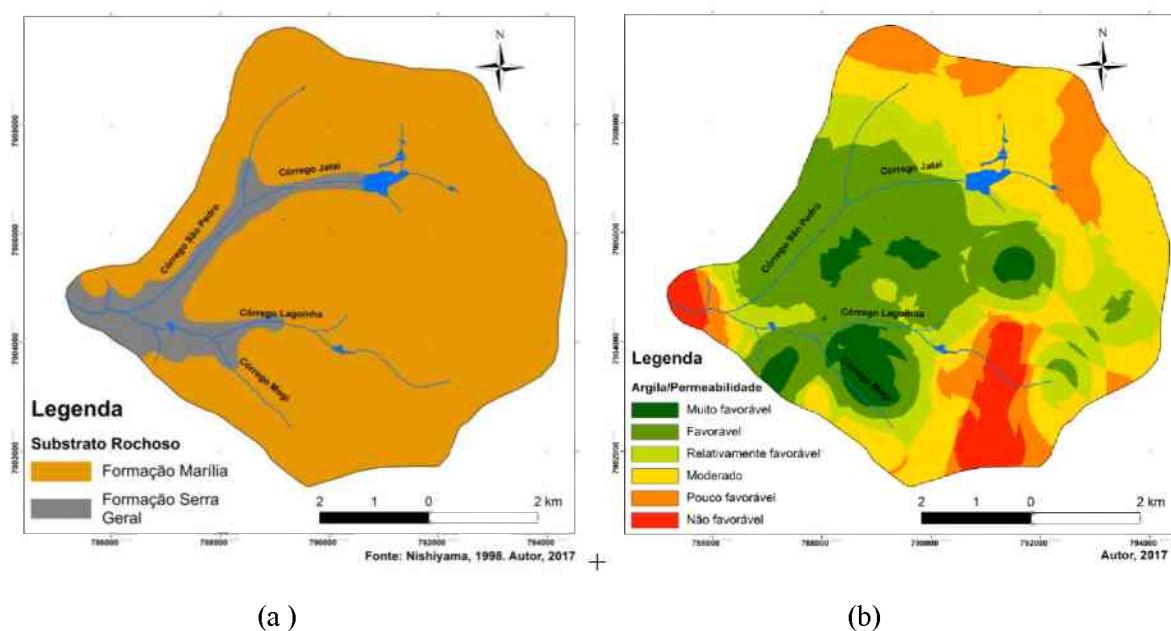
### b) Nível do lençol freático

Para a espacialização do nível água freática buscou-se informações em planilhas de sondagens para simples reconhecimento – SPT geradas pelos empreendimentos de sondagem estabelecidos em Uberlândia. Além de dados secundários existentes nos os estudos de Nishiyama (1998) e Beicher (2001). Ao de posse dos dados destes estudos ocorreu a seleção e organização utiliza-se o programa *ArcGIS10® 10.2.2* na área da Bacia.

**c) Mapa caracterização do substrato rochoso com a soma da argila com as permeabilidades**

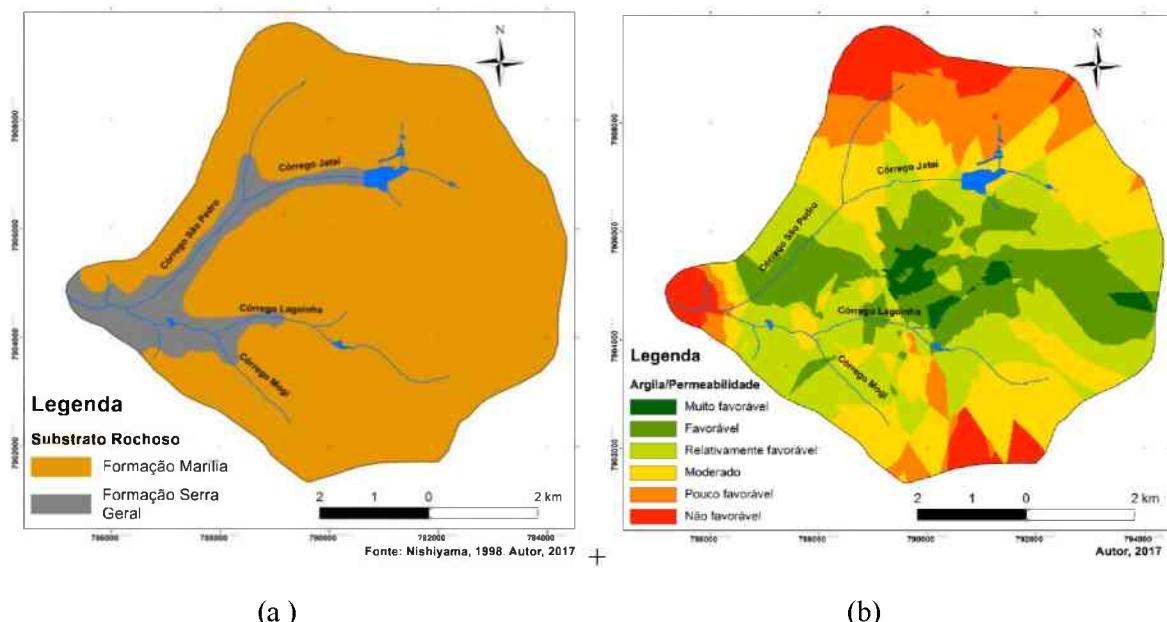
Neste mapa ocorreu a sobreposição da soma da granulometria de argila com as permeabilidades tanto para a profundidade de 10 cm quanto para profundidade de 40 cm com os substratos rochosos elaborados por Nishiyama (1998). Com isto, foi possível determinar possíveis locais mais favoráveis à infiltração. A Figura 53 apresenta os dois mapas que formam somada para a caracterização da infiltração em relação ao substrato rochosos (Nishiyama, 1998) e argila/permeabilidade (profundidade de 10 cm).

Figura 53 – Mapas de substrato rochoso (a) e dos soma dos valores de argila e permeabilidade para a profundidade de 10 cm (b)



Já a Figura 54 apresenta o mapa do substrato rochoso por Nishiyama (1998) sobreposto ao mapa de permeabilidade para profundidade de 40 cm/ argila para gerar os possíveis locais mais favoráveis à infiltração.

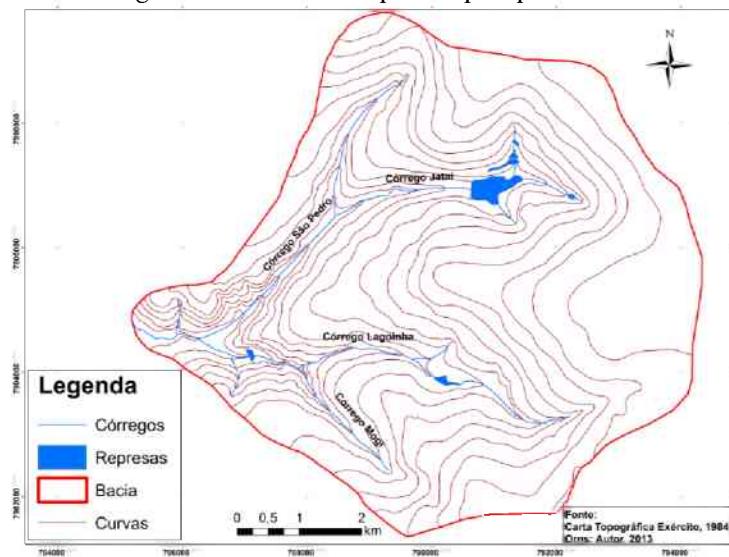
Figura 54 – Mapas de substrato rochoso (a) e soma dos valores de argila e permeabilidade para a profundidade de 40 cm (b)



#### d) Mapa hipsométrico e declividade

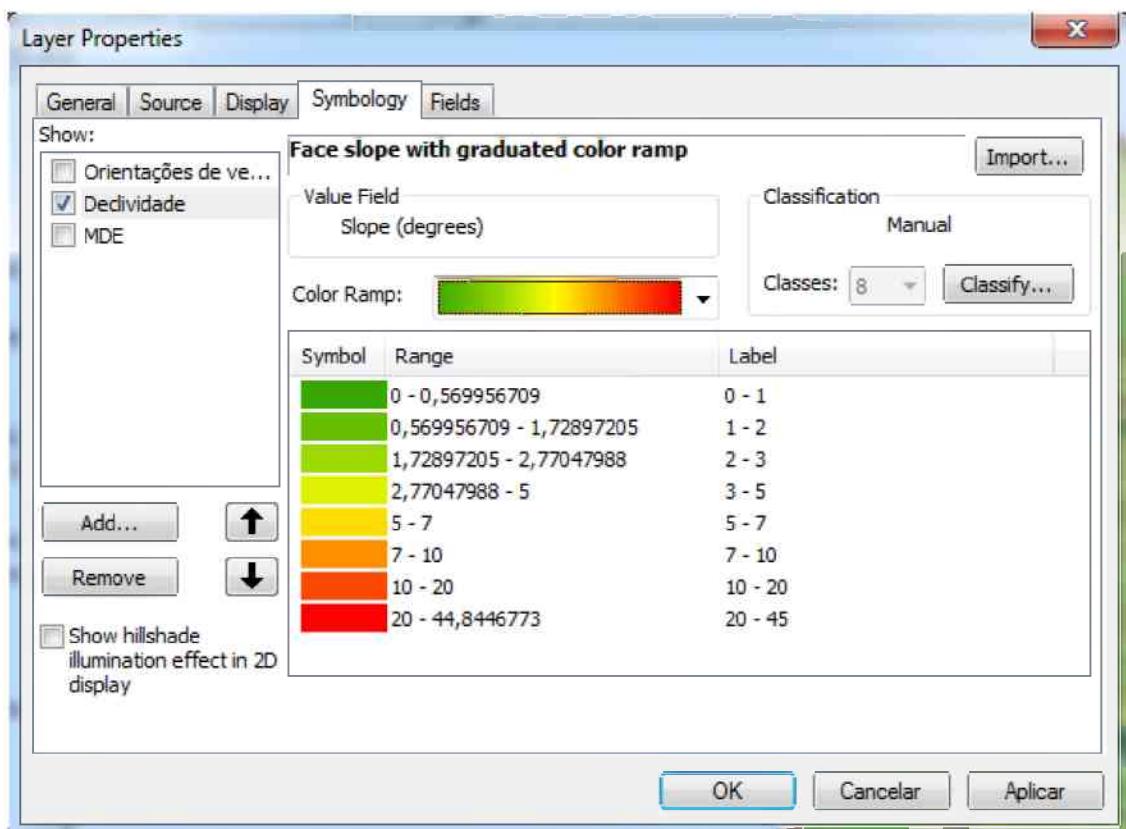
Para realizar o mapa hipsométrico utiliza-se a curvas de nível que foram vetorizadas da base do exercito como já foi elencada (Figura 55). Após a digitalização foi possível fazer a triangulação das curvas utilizando a ferramenta “TIN” do *ArcGIS10® 10.2.2*, com o procedimento no *Arctoolbox – 3D Analyst tools – Data Management – TIN – Create TIN*. A Figura 55 apresenta as curvas de níveis presentes na Bacia do Córrego São Pedro, que possui um a distância entre elas de 10 metros.

Figura 55 – Curvas base para mapa hipsométrico



De posse do arquivo “TIN” é possível fazer as alterações para declividade, modelo digital de elevação e orientações das vertentes, que é apresentado na Figura 56. As classes determinadas neste arquivo foram determinadas de acordo com a sua heterogeneidade. Desta forma, utiliza-se a declividade como apresentada na Figura 56 para a espacialização dos graus da declividade na Bacia do Córrego São Pedro. Para o mapa hipsométrico realizou o mesmo procedimento.

Figura 56 – Ferramenta ArcGIS10® com as propriedades do layer TIN



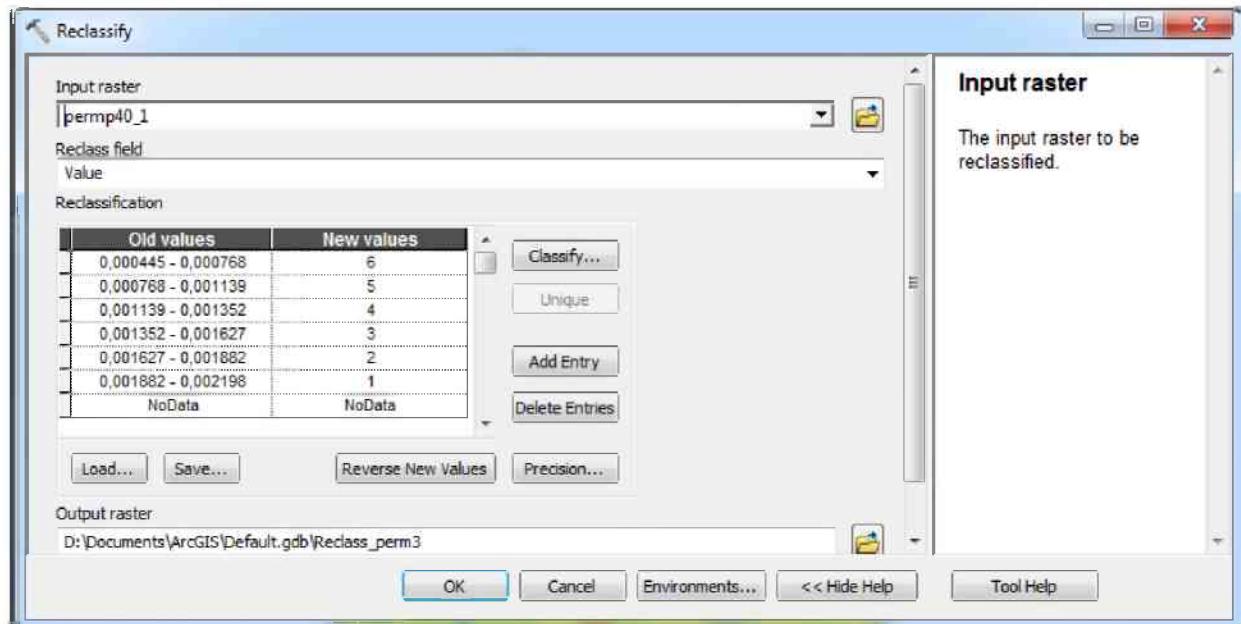
## 5.5 MECANISMO DA ÁRVORE LÓGICA PARA A SOBREPOSIÇÃO DE MAPAS.

Para realizar a álgebra de mapas é necessário colocar escalas equivalentes. As ferramentas utilizadas no *ArcGIS10® 10.2.2* para o procedimento de sobreposição de mapas é o *Arctoolbox – Spatial analyst tools – map álgebra – raster calculator*.

No mapa de porcentagem de argila ocorre uma reclassificação em 6 classes, de 1 até 6, crescendo a numeração conforme o aumento dos grãos de argila. A Tabela 1 apresenta a reclassificação dos valores de argila, SAP (silte, pedregulho e areia) e de permeabilidade. Quando maior a quantidade de argila e menor o valor da permeabilidade maior serão os

valores obtidos. Já, as quantidades de SAP seguem a mesma proporção da permeabilidade. Para fazer esta reclassificação utiliza-se o programa *ArcGIS10® 10.2.2* com o procedimento no *Arctoolbox – Spatial analyst tools – reclassify*. Esta ferramenta apresentada pela Figura 57 mostra a mudança na escala com os valores velhos e novos.

Figura 57 – Ferramenta ArcGIS10® para reclassificação dos valores equivalentes



A Tabela 1 apresenta os valores de argila, SAP, permeabilidade para a profundidade de 10 cm e permeabilidade de 40 cm na equivalência dos valores. Todos os valores gerados não foram arredondamento por causa da heterogeneidade obtida de cada parâmetro, mas buscou-se restringir o intervalo para seis classes. Desta forma ao realizar um análise conjunta terá uma maior diversidade nos mapas finais.

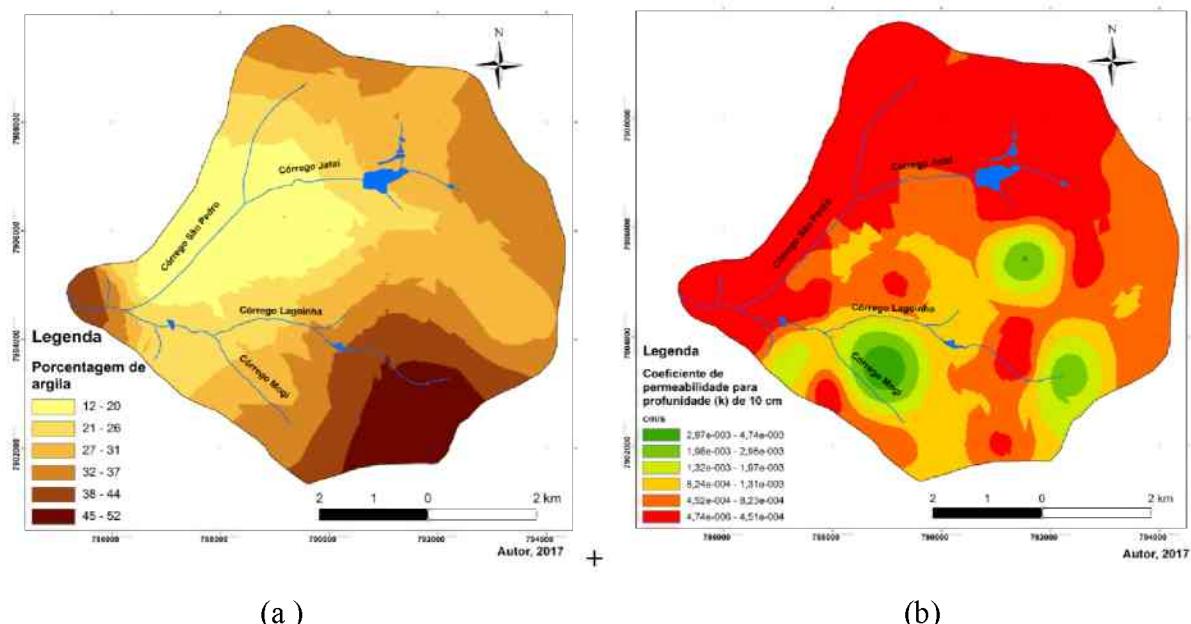
Observa-se que os valores de equivalência e as argilas crescem proporcionalmente. Já os valores de SAP e as permeabilidades são inversamente proporcionais. Estes valores são adotados para a interpolação. Os maiores valores obtidos representam locais com uma significativa presença de argila de baixas permeabilidades e SAP.

Tabela 1 – Valores equivalentes para álgebra de mapas

Valores Equivalentes	Quantificação da potencial infiltração	Intervalo dos valores de Argila (%)	Intervalo dos valores de SAP (%)	Intervalos dos valores de permeabilidade para profundidade de 10 cm (cm/s)	Intervalos dos valores de permeabilidade para profundidade de 40 cm (cm/s)
1	Muito favorável	12,35 – 19,74	79,90 – 87,42	0,00296 – 0,004744	0,001882 – 0,002198
2	Favorável	19,74 – 26,03	73,77 – 79,90	0,001975 – 0,00296	0,001627 – 0,001882
3	Relativamente favorável	26,03 – 30,91	69,01 – 73,77	0,001306 – 0,001975	0,001352 – 0,001627
4	Moderado	30,91 – 36,72	63,33 – 69,01	0,000823 – 0,001306	0,001139 – 0,001352
5	Pouco favorável	36,72 – 43,64	56,43 – 63,33	0,000451 – 0,000823	0,000768 – 0,001139
6	Não favorável	43,64 – 52,44	48,30 – 56,43	0,000005 – 0,000451	0,000445 – 0,000768

A reclassificação das bases cartográficas apresentam-se conforme a Figura 58 com os valores de argila apresentados na esquerda somados aos valores de permeabilidade apresentados na direta. Com isto, ao somar estes dois valores obtém-se a álgebra de mapas.

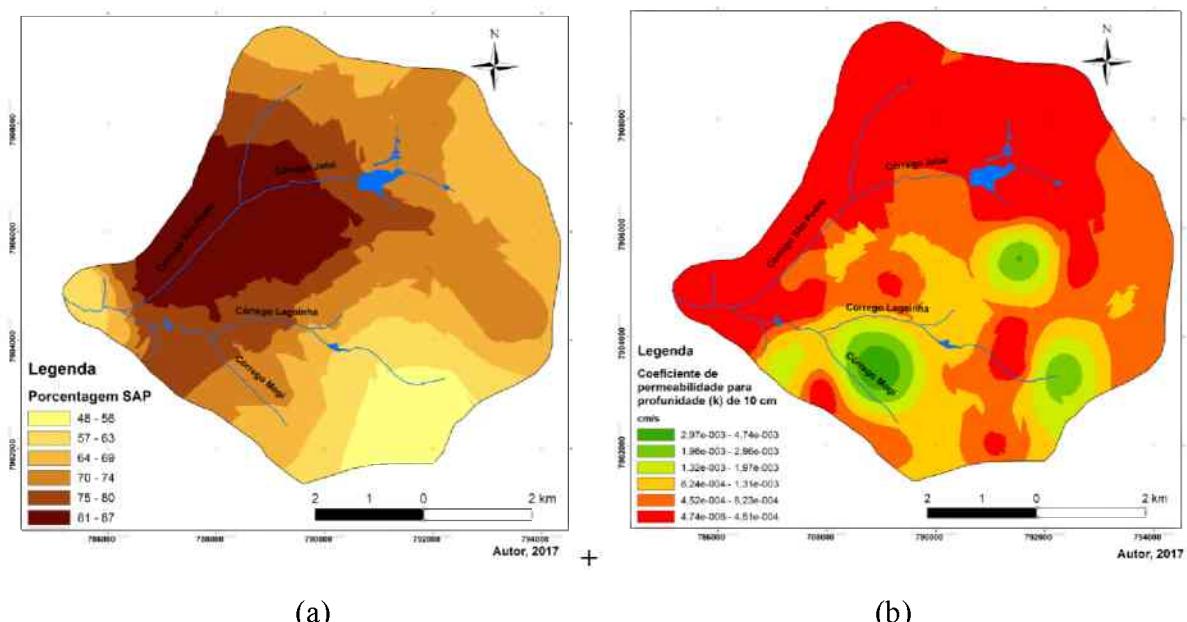
Figura 58 – Mapas de Porcentagem de Argila (a) e permeabilidade para a profundidade de 10 cm (b) utilizando álgebra de mapas.



Os pseudos-siltes possuem um comportamento similar aos das areias. Por isso, os siltes, as areias e os pedregulhos SAP foram unificados passando pelas mesmas etapas e ferramentas do programa *ArcGIS10® 10.2.2* que as argilas. Os valores de escala equivalente

foram inversamente proporcionais: quanto maior o valor da escala, menor a porcentagem obtida pelo SAP. Conforme a Figura 59, os valores que possuem maior SAP estão representados pelo valor 1. Ao analisar os valores de permeabilidade para a profundidade de 10 cm verifica-se que na porção norte da bacia, encontra-se as menores permeabilidades, representadas pelo valor 6. Com isto, os valores da Figura 59 são somas utilizando a escala equivalente.

Figura 59 – Mapas de Porcentagem de SAP (a) e permeabilidade para a profundidade de 10 cm (b) utilizando álgebra de mapas.



Para a análise das profundidades de 40 cm utilizaram-se as mesmas ferramentas do *ArcGIS10® 10.2.2*, com os valores de argila, SAP e permeabilidade (profundidade de 40 cm). A Figura 60 apresenta o mapa de argila somado ao de permeabilidade. Para profundidade de 40 cm percebe-se que os locais de concentração de argila (valor 6) também são os locais de maior permeabilidade, com o valor 1.

Já, para os dados de SAP as áreas de maior concentração ao norte da bacia estão apresentados pelo valor 1 na Figura 61. Nesta mesma Figura percebe-se que as concentrações de maior permeabilidade e as concentrações de SAP são inversas.

Figura 60 – Mapas de Porcentagem de Argila (a) e permeabilidade para a profundidade de 40 cm (b) utilizando álgebra de mapas.

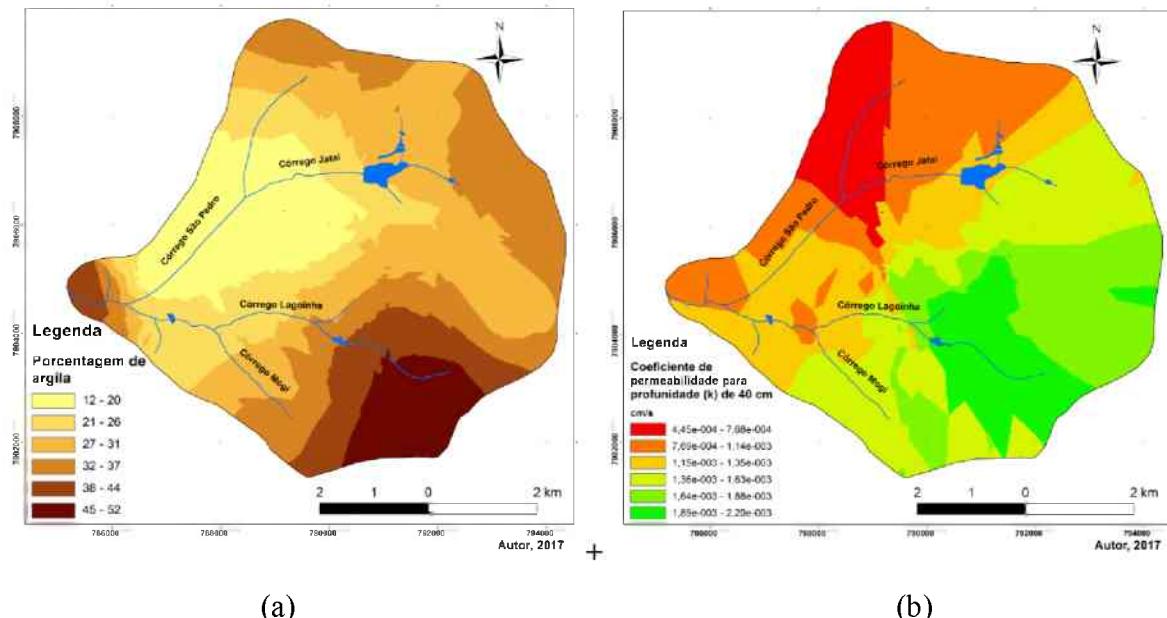
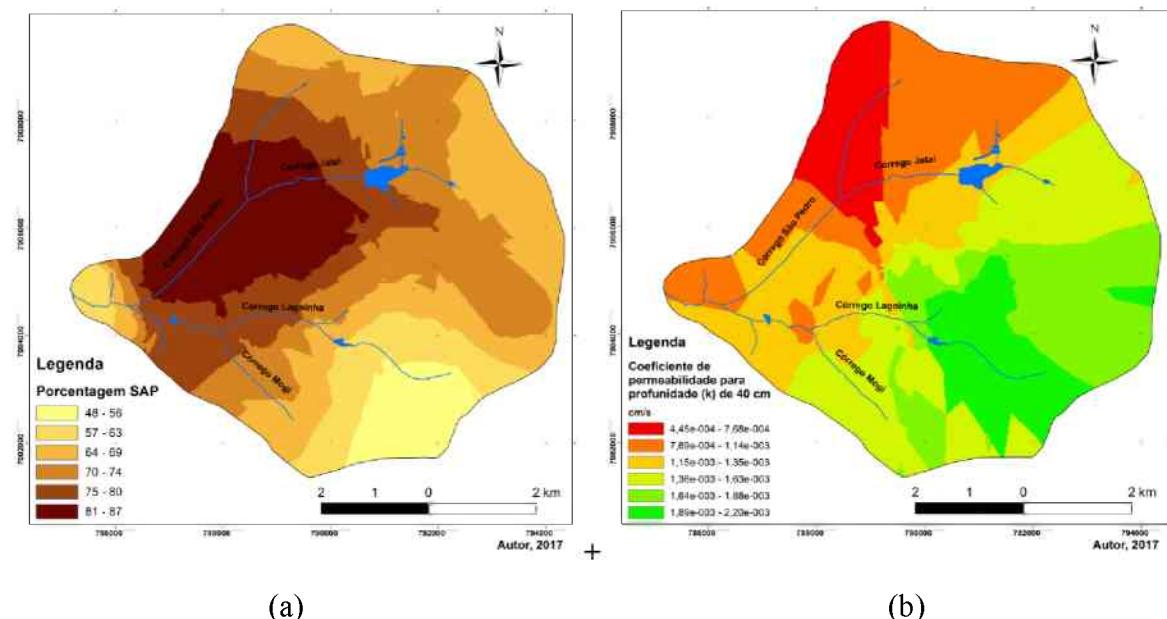
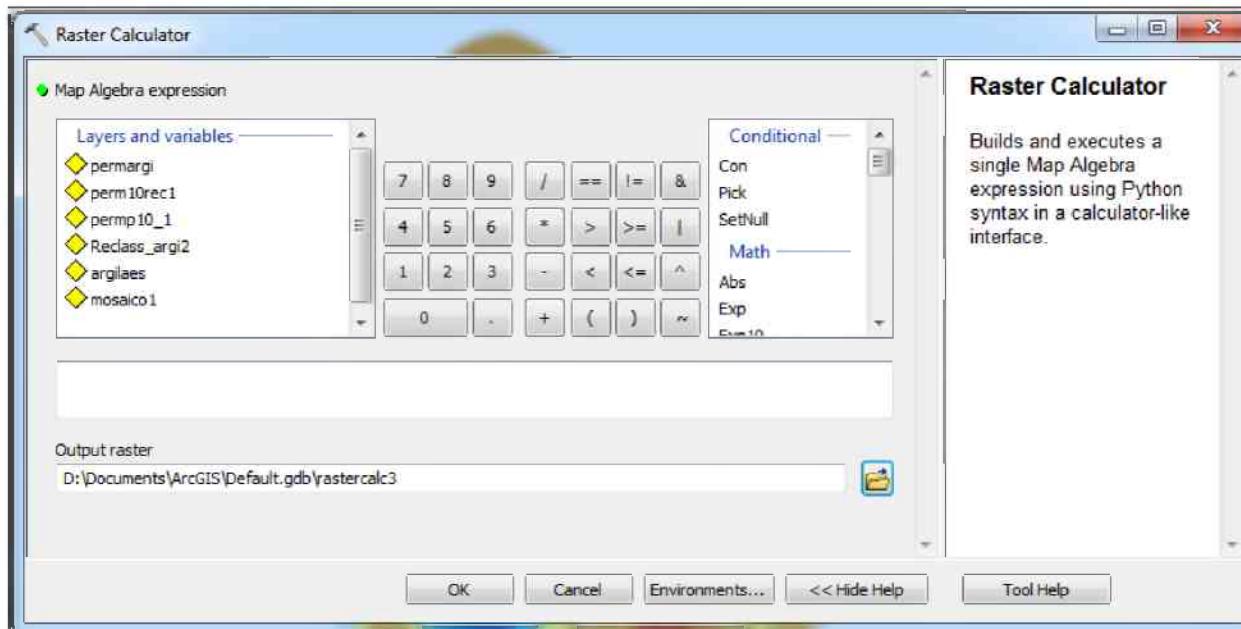


Figura 61 – Mapas de Porcentagem de SAP(a) e permeabilidade para a profundidade de 40 cm (b) utilizando álgebra de mapas.



O mapa resultante desta soma possibilita uma caracterização das tendências dos locais de infiltração, visto que se utilizam somente dois parâmetros nesta análise. De posse dos dois parâmetros em escalas equivalentes utilizou-se a ferramenta “*raster calculator*” do ArcGIS10® apresentada na Figura 62.

Figura 62 – Janela do raster calculator da ferramenta de álgebra de mapas.



Posteriormente a soma destes mapas foi possível a análise com maiores e menores áreas de infiltração. Na análise deste parâmetro as áreas com até 36,72% (classe 5) de argilas são solos argilosos que dificulta a infiltração de água. Com isto de acordo com a matriz da Tabela 2 observa-se a classificação das possíveis áreas de infiltração. Quanto mais próximo de 1 maior a área de infiltração e quanto mais próximo de 12, menor a área de infiltração.

Tabela 2 – Valores interpolados na ferramenta de álgebra de mapas.

Valores Equivalentes	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
2	3	4	5	6	7	8
3	4	5	6	7	8	9
4	5	6	7	8	9	10
5	6	7	8	9	10	11
6	7	8	9	10	11	12

Para facilitar a análise adotou-se a mesma terminologia após as interpolações adotou-se a utilização do agrupamento de 6 classes independente dos dados gerados com a seguinte quantificação (Quadro 11):

Quadro 11 – Valores quantificado para caracterizar áreas de potencial infiltração..

Quantificação da potencial infiltração
Muito favorável
Favorável
Relativamente favorável
Moderado
Pouco favorável
Não favorável

Neste trabalho adotaram-se como solos argilosos valores obtidos menores ou igual a fração de 40% na escala granulometria. Os valores superiores a fração de 40% da classificação dos grãos foram classificados com arenosos. Esta divisão foi realizada para análise do comportamento dos solos em relação à dinâmica hídrica.

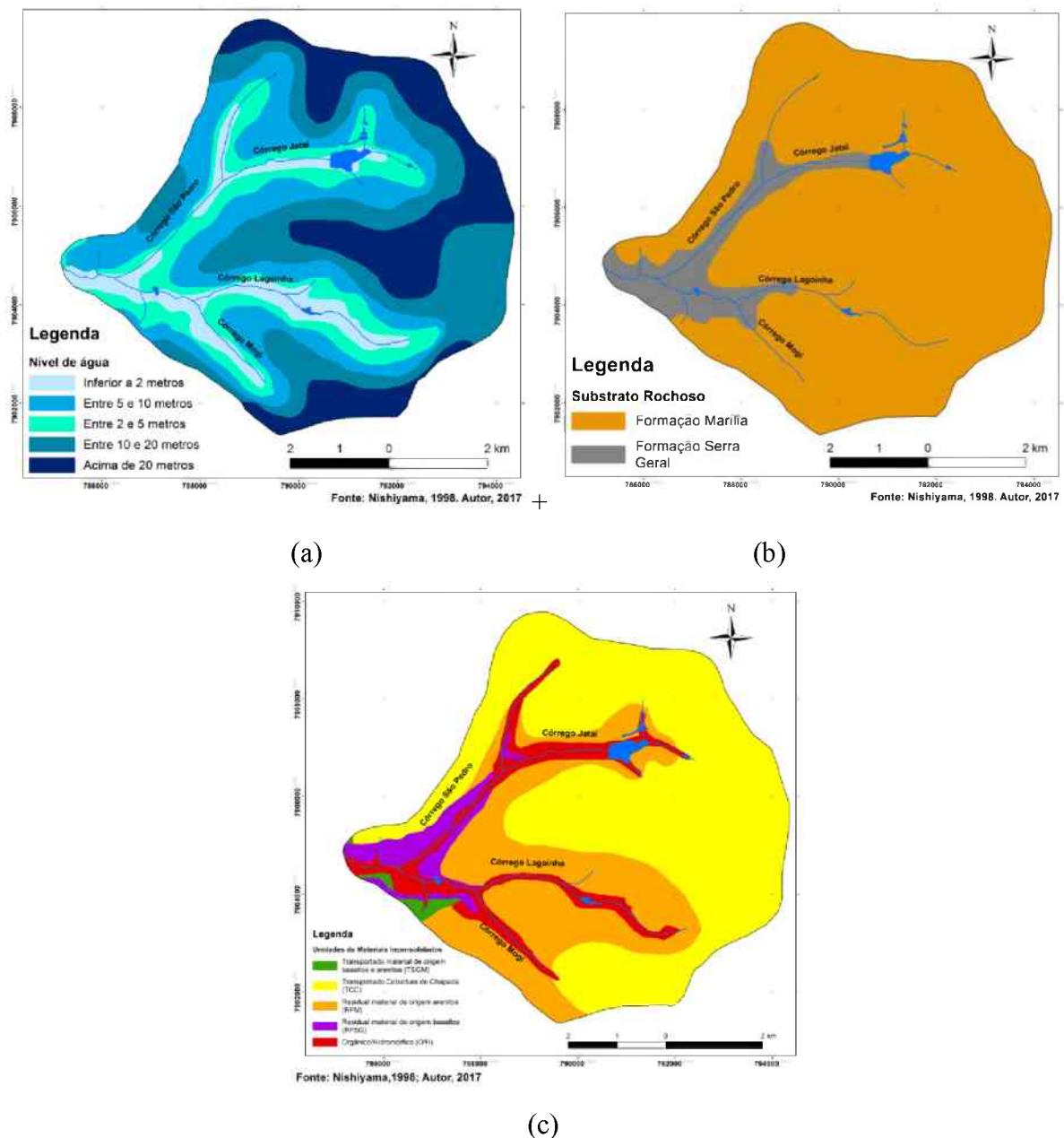
Para realizar este mapa geoambiental de potencial de infiltração utiliza-se o substrato rochoso, profundidade do nível de água (NA) (Nishiyama, 1988) e mapa de unidades de materiais inconsolidados. Estes podem ser visualizados na Figura 63. Os parâmetros que geraram este mapa estão no Quadro 12:

Quadro 12 – Componentes integrados na álgebra de mapas

Componentes	Atributo	Peso
Substrato rochoso	Arenito	5
	Basalto	2
Profundidade do NA	menores que 2 metros	0
	entre 2 e 5	2
	entre 5 e 10	5
	Entre 10 e 20 metros	10
	Acima de 20 metros	12
Mapa de unidades de materiais inconsolidados	TCC	7
	RFM	8
	RFSG	2
	TSGM	3
	O/H	0

Fonte: Nishiyama (1988)

Figura 63 – Mapas componentes do mapa de potencial infiltração. (a) Mapa de Nível de água, (b) mapa do substrato rochoso e (c) mapa de materiais inconsolidados.



E por fim, utilizou-se a álgebra de mapas para gerar a carta de adequabilidade de infiltração. Este mapa representa áreas propícias à infiltração, voltadas para implantação de estruturas para infiltração das águas pluviais, como por exemplo: bolsões para retenção e infiltração, poços para infiltração, pavimentos permeáveis, leitos de brita em pátios de estacionamentos etc.

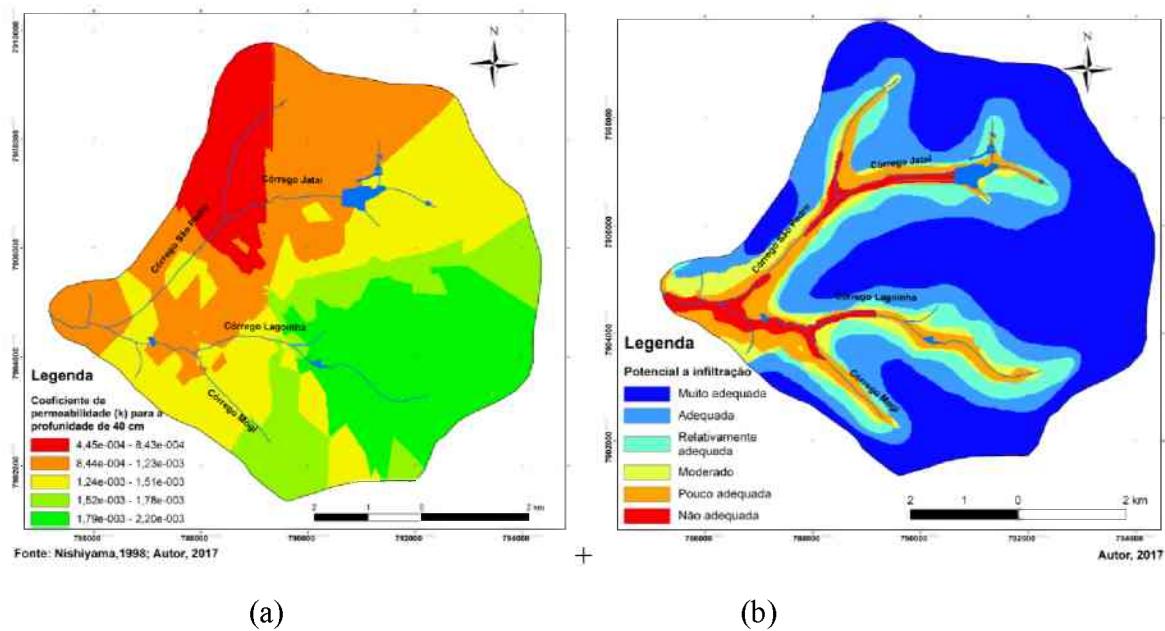
De posse do mapa geoambiental de potencial de infiltração foi possível integrá-lo com o mapa de permeabilidade para a profundidade de 40 cm para gerar o mapa de adequabilidade à infiltração. A Figura 64 apresenta o mapa de coeficiente de permeabilidade ( $k$ )

(profundidade de 40) que foi sobreposto no mapa geoambiental de potencial à infiltração. Entretanto foi necessário reclassificar a permeabilidade (Quadro 13) colocando os maiores valores para as áreas mais permeáveis, pois ao somar com o outro mapa os maiores valores obtidos foram das áreas de maior adequabilidade de infiltração.

Quadro 13 – Valores equivalentes para o coeficiente de permeabilidade (k) para profundidade de 40 cm.

Valores equivalentes	Intervalos dos valores de permeabilidade para profundidade de 40 cm (cm/s)
1	0,000445 – 0,000768
2	0,000768 – 0,001139
3	0,001139 – 0,001352
4	0,001352 – 0,001627
5	0,001627 – 0,001882
6	0,001882 – 0,002198

Figura 64 – Soma da permeabilidade para a profundidade de 40 cm (direita) com o mapa geoambiental de potencial a infiltração utilizando álgebra de mapas.



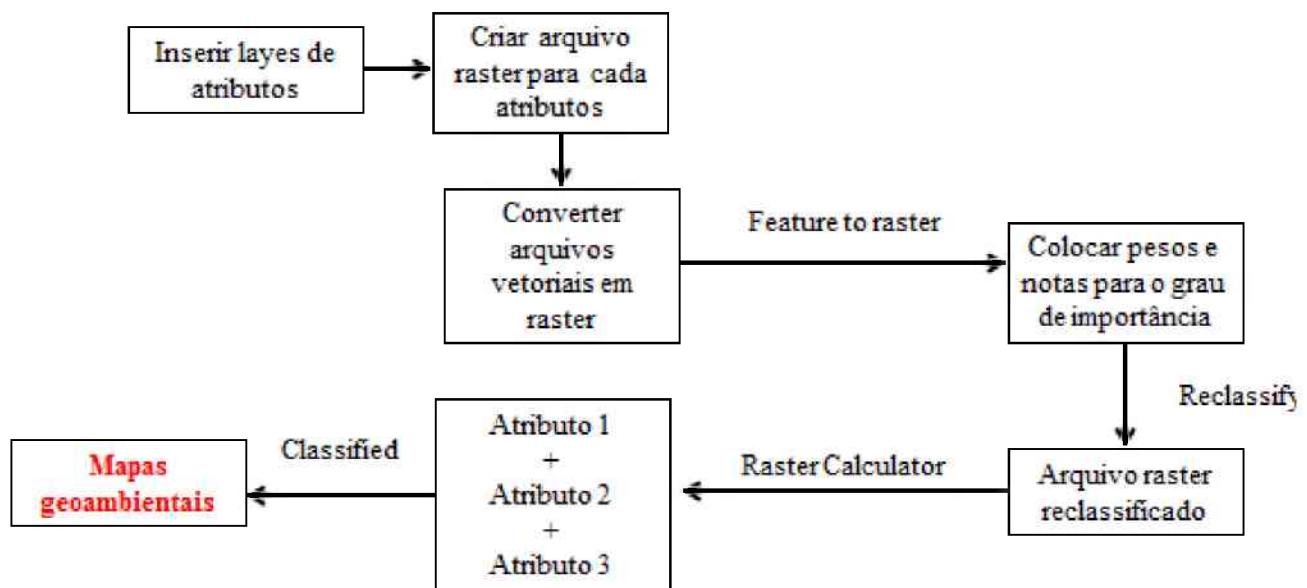
Após, geram o mapa adequabilidade a infiltração é necessário reclassificar os dados de valores matemáticos para elementos quantitativos. Desta forma, o Quadro 14 apresenta esse agrupamento dos valores para facilitar a análise dos locais de infraestrutura para propiciar a infiltração.

Quadro 14 – Valores quantificado para caracterizar áreas de adequabilidade a infiltração.

Quantificação da adequabilidade a infiltração
Muito adequada
Adequada
Relativamente adequada
Moderado
Pouco adequada
Não adequada

Para fazer esta análise utilizaram-se as ferramentas do *software* ArcGIS10® 10.2.2. A Figura 65 apresenta os procedimentos no *software* para elaboração principalmente do zoneamento, mas também foi utilizado para integração das outras cartas apresentadas na terceira etapa.

Figura 65 – Procedimentos no software ArcGI10® para a elaboração do mapa geoambiental de áreas propícias à infiltração.

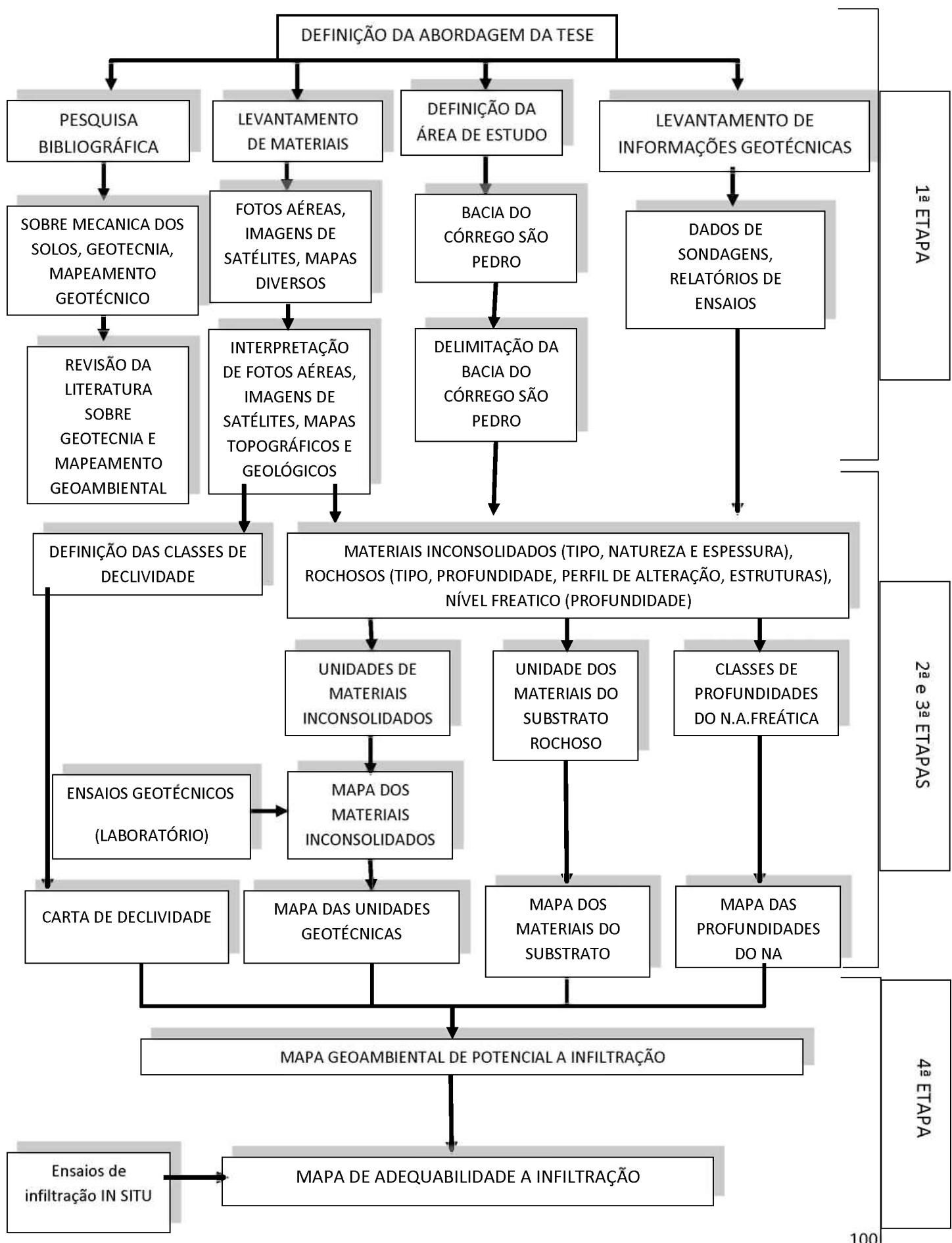


Para compreender o desenvolvimento da tese aborda-se um fluxograma síntese (Figura 66), com destaque para as quatro etapas principais:

- Primeira etapa - levantamento de referências bibliográficas, informações pré-existentes, determinação da área de estudo e produção de informações preliminares;

- Segunda etapa – Levantamento de dados primários tanto em campo quanto na elaboração dos mapas temáticos;
- Terceira etapa - obtenção de informações quantitativas - ensaios de laboratório e *in situ*;
- Quarta etapa - análise e integração de informações obtidas e proposição da carta de adequabilidade de infiltração.

Figura 66 – Fluxograma das etapas de pesquisa



## 6 – RESULTADOS

Com a interpolação das curvas de nível, oriundas das cartas topográficas do Ministério do Exército de 1984 na escala 1:25.000, gerou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) e o mapa de declividade. O mapa Modelo Digital de Elevação é uma interpolação das curvas de nível por uma grade triangular, que possibilita a melhor visualização de superfícies irregulares, como, por exemplo, as áreas próximas aos canais.

Na Figura 67 é possível visualizar o limite da bacia do Córrego São Pedro com o relevo (MDE), que possui um decaimento suave comprovado pela amplitude entre as cotas de 940 e 910 m. Em razão da baixa declividade do terreno na área próxima do divisor de águas percebe-se o favorecimento da infiltração de água e, consequentemente, a redução do escoamento superficial. Conforme o mapa do MDE observa-se que a área próxima à do córrego São Pedro no rio Uberabinha possui uma amplitude abrupta partindo da cota 810 para 770 m, que possibilita o comportamento topográfico inverso da área de cabeceira da bacia.

Nesta mesma Figura foi realizada uma integração do material inconsolidado, encontrados por Nishiyama (1998) com o modelo digital de elevação (MDE). Ao integrar estas duas características do meio físico é possível compreender que nas áreas de maiores altitudes há a predominância da unidade Transportado Cobertura de Chapada (TCC), terminologia adotada por Nishiyama (1998). Esta unidade cobre praticamente 50% da bacia.

Outro aspecto que pode ser observado conforme as cotas topográficas diminuem, surgem outras unidades de materiais inconsolidados encontrados na Bacia do Córrego São Pedro. No sentido topo-talvegue do córrego São Pedro nota-se uma sucessão de materiais inconsolidados. Primeiramente a unidade–residual origem arenito Marília (RFM) entre as cotas 810 à 910 m. Já o residual originado de basaltos (RFSG) não ultrapassa as cotas de 850 m e fica adjacente à unidade Hidromórfico (O/H) nas cotas mais baixas da bacia.

A Figura 68 apresenta um perfil com um exagero vertical de 16 vezes com uma escala na horizontal de 1:50.000 e na vertical de 1:3.000. No exagero vertical utilizou-se a proporção de dividir a escala horizontal pela vertical.

Constata-se no perfil que, da cota 870 m até o divisor de águas da bacia encontra-se a unidade TCC. De acordo com o perfil, há uma distância linear do limite

da Bacia para a foz (B – A na Figura 67) que possui aproximadamente 5 km, com uma amplitude topográfica de aproximadamente 50 metros nesta unidade.

Figura 67 – Mapa do Material Inconsolidado sobre o Modelo Digital de Elevação na Bacia do Córrego São Pedro

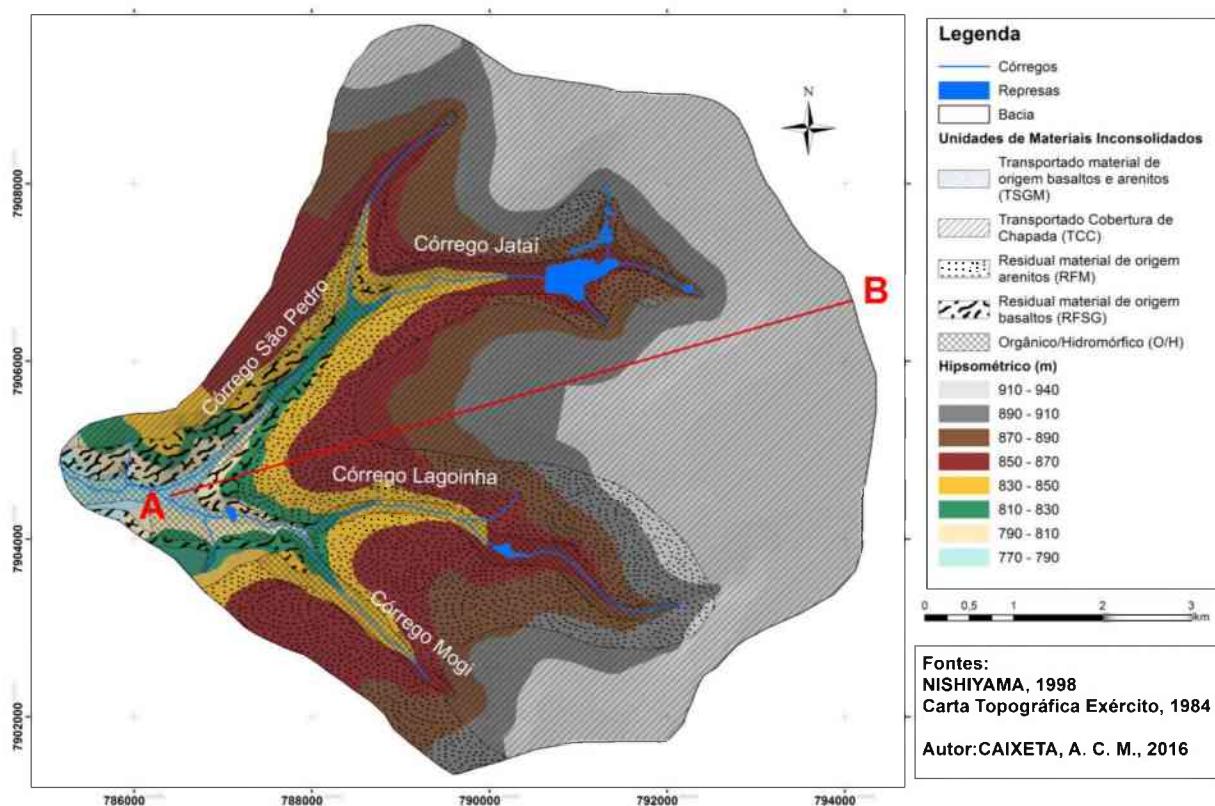
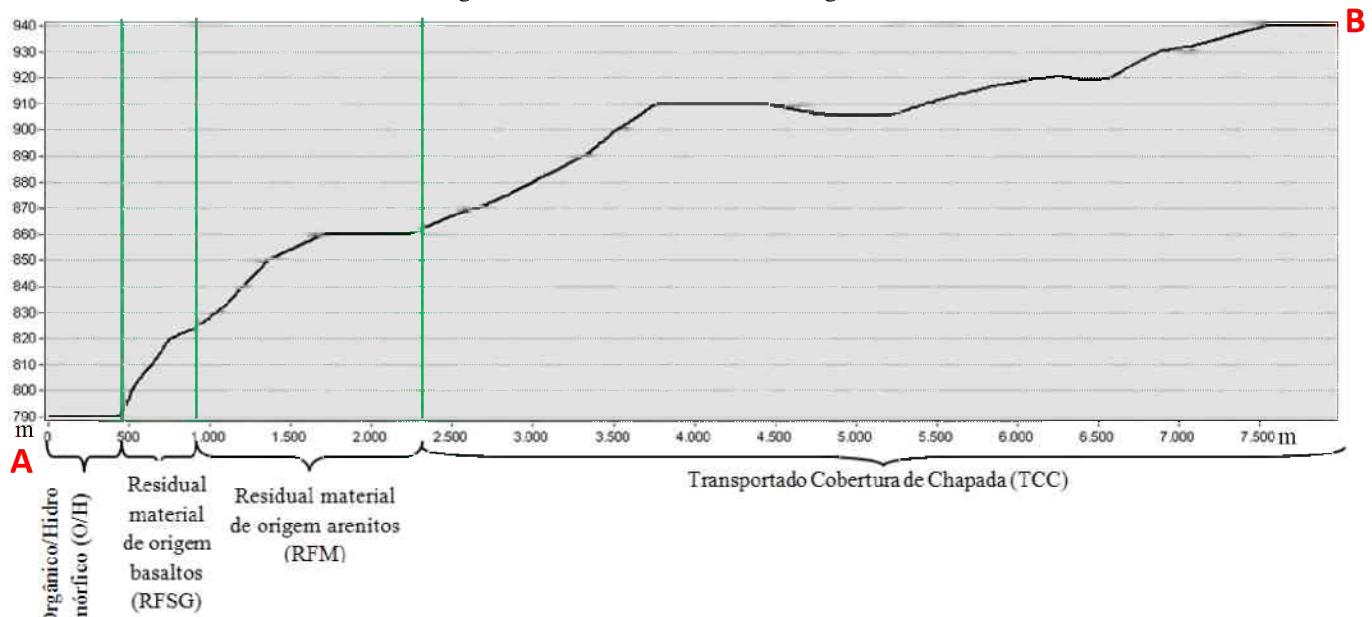


Figura 68 – Perfil na Bacia do Córrego São Pedro



Elaborado: Autor, 2016

A unidade do Residual Material de Origem Arenitos Marília (RFM) possui uma extensão linear no perfil (A – B na Figura 67) de 1.500 m com uma amplitude topográfica de aproximadamente 40 metros. Ao comparar com a unidade TCC, ocorre uma significativa mudança da distância linear da unidade RFM.

A amplitude topográfica de 30 m para uma extensão linear no perfil (A – B na Figura 67) de 500 m caracteriza uma mudança significativa na topografia da unidade do Residual Material de Origem Basaltos (RFSG), com um decaimento linear de aproximadamente 16 metros para cada metro da cota. Desta forma, a área de estudo possui um relevo suave próximo ao divisor de água e, conforme aproxima da foz no rio Uberabinha, ocorre à mudança de material e da topografia.

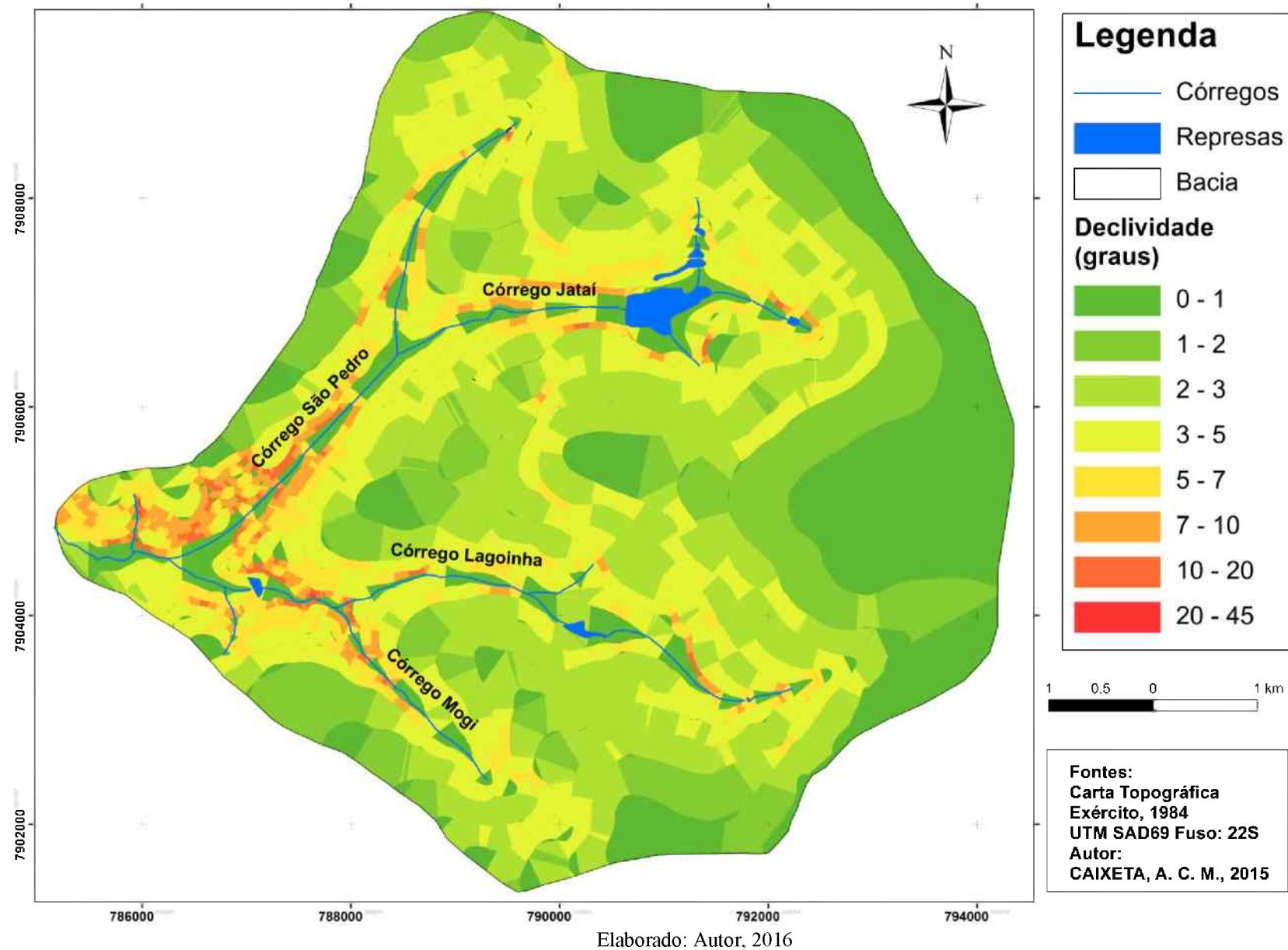
Outro mapa que contribui para esta análise preliminar da área de estudo é o mapa de declividade. Este foi fundamental para determinar as áreas com maior amplitude de declividade e apontar as áreas com declividade de até 45°, as quais devem ter um uso adequado, considerando a condição do terreno e atendendo a legislação ambiental brasileira. A Figura 69 apresenta o mapa de declividade da Bacia do Córrego São Pedro.

Com os mapas gerados foi possível obter uma visão tridimensional do relevo. Ao observar a área de forma integrada é plausível uma visão das áreas inundáveis. Para determinar estes pontos verificam-se os locais de menor declividade próximos aos canais, taludes com declividade mais acentuada e locais que não propiciam o escoamento superficial (área do topo).

Após os trabalhos de campo, os ensaios de laboratório e o trabalho de base de Nishiyama (1998), definiu-se o limite das unidades geoambientais da bacia. De acordo com as unidades do trabalho referido, percebeu-se que com o aumento da escala houve a necessidade de inserir mais uma unidade. Esta classe foi delimitada de acordo com as suas características geológicas, geotécnicas (tipo de material inconsolidado), declividade e características observadas em campo.

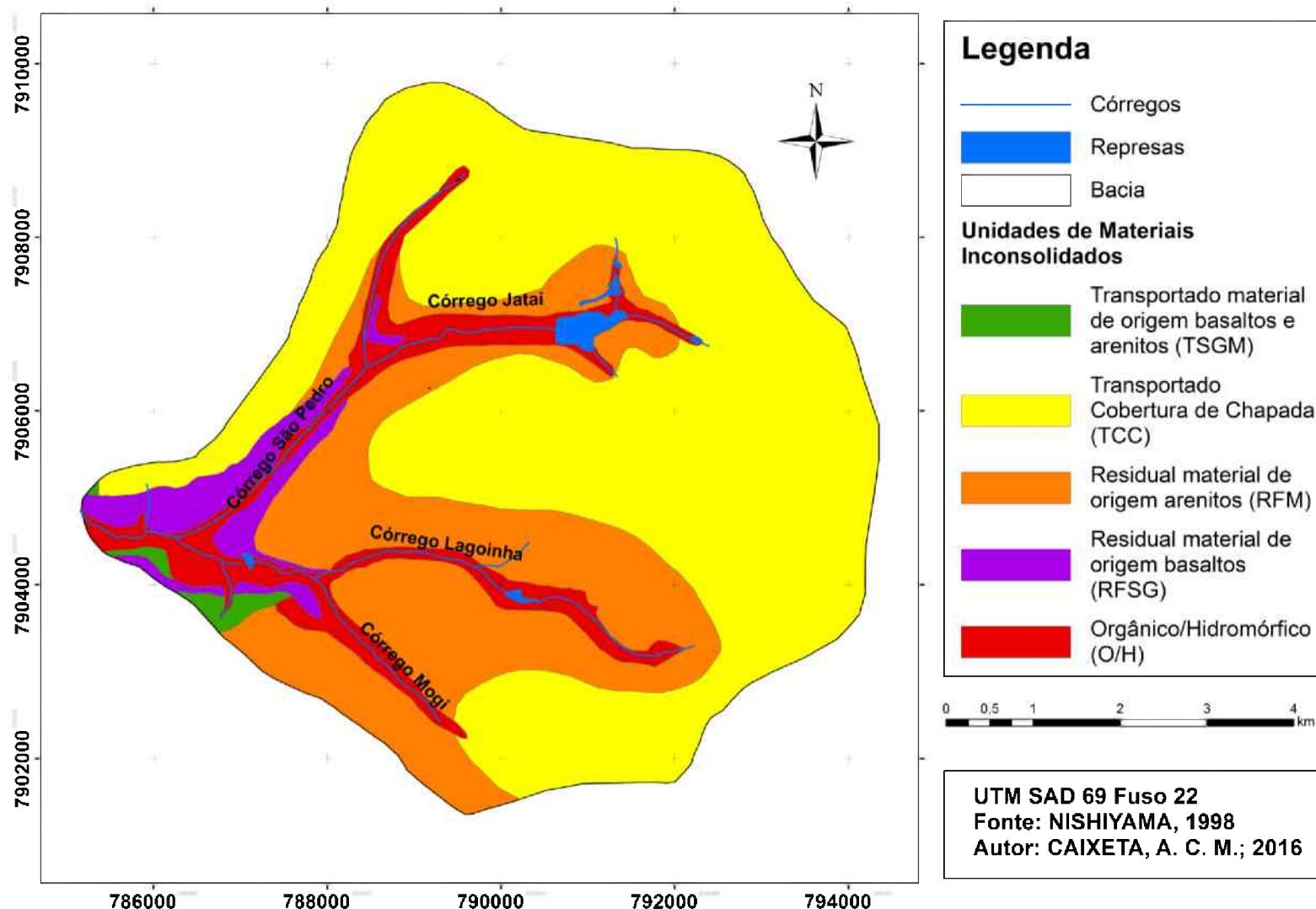
Foram identificadas cinco unidades de materiais inconsolidados na área da bacia do córrego São Pedro: retrabalhado argilo-arenoso, (TCC); residual areno-argiloso (RFM); residual argilo-siltoso (RFSG); retrabalhado argilo-siltoso (TSGM); e coberturas orgânicas e/ou hidromórficas (O/H). A Figura 70 apresenta o mapa dos materiais inconsolidados e o Quadro 15 apresenta as características de cada unidade delimitada. Utilizaram-se principalmente esses dois elementos para analisar o solo como um meio de infiltração das águas pluviais.

Figura 69 – Mapa de declividade (graus) da Bacia do Córrego São Pedro



Elaborado: Autor, 2016

Figura 70 – Mapa de unidades de materiais inconsolidados



Elaborado: Autor, 2016

Quadro 15 – Características gerais das Unidades de materiais inconsolidados

Unidade	Características
TSGM	Transportado material de origem basaltos da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Marília (Arg I). Espessuras variáveis entre 2 e 5 metros, textura argilosa a argilo-arenosa, coloração vermelho – escuro (25,5YR), comum presença de pedregulhos e seixos. Coeficiente de permeabilidade na ordem de $10^{-4}$ a $10^{-5}$ cm/s. A ocorrência da unidade em porções de baixa encosta e fundo de vale, onde a presença do substrato basáltico mantém o lençol freático a pequena profundidade, normalmente a menos de 3 metros.
TCC	Transportado Cobertura de Chapadas. Frequentemente com espessuras superiores a 20 metros podendo chegar a 30 metros, textura argilo-arenosa e argilo-silto-arenosa, coloração vermelho-escuro (2,5YR). Aumento na porcentagem de areia ao longo do perfil, no sentido descendente. Apresenta coeficiente de permeabilidade na ordem de $10^{-3}$ a $10^{-4}$ cm/s, condição que pode ser considerada elevada, apesar de sua característica argilosa. Na área de ocorrência da unidade o lençol freático situam-se as profundidades superiores a 10 metros.
RFM	Residuais da Formação Marília. Espessuras superiores a 10 metros, textura areno-argilosa, coloração em diferentes matizes de vermelho (2,5 YR – 5,0 YR). Coeficiente de permeabilidade na ordem de grandeza de $10^{-3}$ cm//s. A profundidade do lençol freático, em geral, encontra-se entre 5 e 10 metros.
RFSG	Espessuras inferiores a 3 metros textura argilo-siltosa a silto-argilosa, coloração vermelho – escura, arroxeadas, ocre amarelada. Comumente, apresenta blocos arredondados de basalto em vias de decomposição intempérica. Coeficiente de permeabilidade na ordem de $10^{-4}$ a $10^{-6}$ cm/s. A ocorrência da unidade em porções de fundo de vale e a presença do substrato basáltico, o lençol freático encontra-se a pequena profundidade, normalmente a menos de 3 metros.
O/H	Hidromórficos (H): Espessuras variáveis entre 2 e 5 metros, textura argilosa e argilo – arenosa, coloração amarelada, ocre, e branco acinzentada. Comum presença de camadas orgânicas decimétricas a métricas (raramente superiores a 2 metros).

Fonte: Nishiyama (1998)

Ao integrar a granulometria, a localização e a unidade de materiais inconsolidados na Figura 71 identifica-se o alinhamento das amostras 28, 32, 31, 36 e 37. As amostras 28 (TCC), 32 (RFSG), 31 (O/H), no sentido da foz - nascentes, estão na vertente esquerda do córrego São Pedro com uma amplitude topográfica de aproximadamente 50 m por uma distância linear de aproximadamente 500 m.

De acordo com os resultados das análises granulométricas realizadas das amostras coletadas na vertente esquerda do córrego São Pedro estes apresentaram em média 20% de argila e silte, 37,7% de areia fina e 20% de areia média (Tabela 3). Desta

forma, percebe-se que a maioria das amostras pode ser classificada como areia fina, o que favorece a infiltração de água.

A unidade O/H apresenta características favoráveis à redução da infiltração de água, visto que o lençol freático encontra-se muito próximo à superfície, apesar de a amostra 28 obtida de unidade O/H, conforme a Tabela 3, possuir a maioria dos seus grãos situada na faixa de areia fina, com 42% de areia e 20% de pedregulho.

Tabela 3 – Distribuição granulométrica das amostras 28, 32,e 31

Amostra	Argila	Silte	Areia			Pedregulho
			Fina	Média	Grossa	
<b>28</b>	7,0	15,0	42,0	14,6	1,4	20,0
<b>32</b>	11,5	15,5	41,0	28,5	2,5	0,0
<b>31</b>	0,5	20,5	30,0	19,7	7,1	22,2
<b>Média</b>	6,3	17,0	37,7	20,9	3,7	14,1

As amostras 36 (RFSG), 37 (RFM) (Figura 5.5) foram obtidas na margem direta (sentido foz – nascentes), com uma distância linear do Córrego São Pedro de aproximadamente 350 m e com uma amplitude topográfica de 25 m. Verifica-se, ao comparar com a margem oposta, que o relevo é mais suave, com a curva granulométrica heterogênea pela presença de duas unidades distintas (Tabela 4) e a unidade RFSG ostenta pequena espessura inconsolidada sobrejacente a saprolitos com fraturas ainda visíveis conforme a Figura 72.

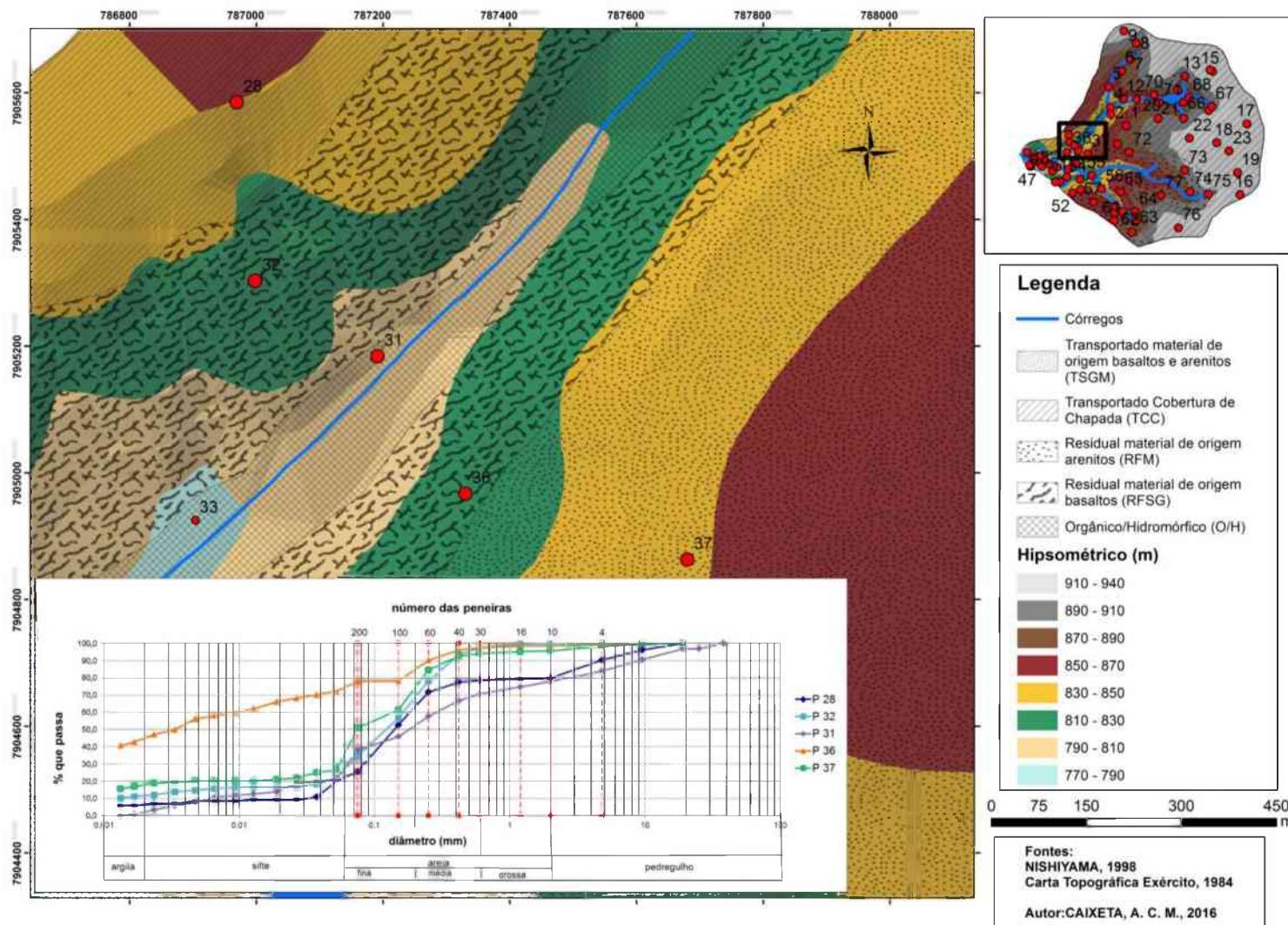
Tabela 4 – Distribuição granulométrica das amostras 36 e 37

Amostra	Argila	Silte	Areia			Pedregulho
			Fina	Média	Grossa	
<b>36</b>	45,0	28,0	11,0	13,4	1,2	1,4
<b>37</b>	17,0	18,0	39,0	20,1	1,6	4,3
<b>Média</b>	31,0	23,0	25,0	16,8	1,4	2,9

A Tabela 4 apresenta valores próximos para partículas classificadas como areia grossa, pedregulho e uma grande heterogeneidade nas classes argila e areia fina. Essas

variações texturais são melhor visualizadas na curva granulométrica da Figura 71. Porém, não é possível realizar uma análise precisa da área. Com isto, é necessário integrar os resultados de granulometria, o índice de plasticidade e de permeabilidade para compreender o comportamento do solo nesta área.

Figura 71 – Localização das amostras 28 (TCC), 32 (RFSG), 31 (O/H), 36 (RFSG), 37 (RFM) sobreposta ao mapa hipsométrico



Elaborado: Autor, 2016

A Figura 72 mostra um perfil localizado do lado direito do Córrego São Pedro, sentido foz-nascentes distando aproximadamente 300 m do córrego São Pedro. Observa-se delimitado na foto a localização de uma caneta para compreender a escala. Este perfil possui um afloramento de basalto com alto grau de alteração intempérica, porém com as fraturas ainda visíveis.

Figura 72 – Basalto alterado exposto com presença de fissuras preenchidas.



Foto: Autor, 2016

A unidade TCC apresenta uma particularidade não observada nas demais unidades: o desenvolvimento de fendas de contração com vários metros de extensão e

alguns centímetros de largura. Estas estruturas evoluem no período seco do ano e desaparecem com o advento das chuvas. Certamente, tais estruturas favorecem a infiltração da água.

Esta unidade é caracterizada pela maioria de suas partículas classificadas como argila, que possui um comportamento diferenciado e formam os grumos de dimensões de silte, também conhecidos como pseudosiltos. Os pseudosiltos determinam um comportamento de permeabilidade equivalente a de um solo arenoso ou siltoso favorecendo a infiltração da água. As Figura 73 e Figura 74 são fotos tiradas do cruzamento das BR-452 e BR-365 onde pode-se visualizar o fendilhamento, formação de grumos de argila e rápida infiltração da água da chuva.

Figura 73 – Fendilhamento do solo da unidade TCC. Notar grumos maiores ao lado da fissura



Foto: Autor, 2016

Figura 74 – Solo da unidade TCC exposto próximo ao viaduto da BR-365 e BR-452



Foto: Autor, 2016

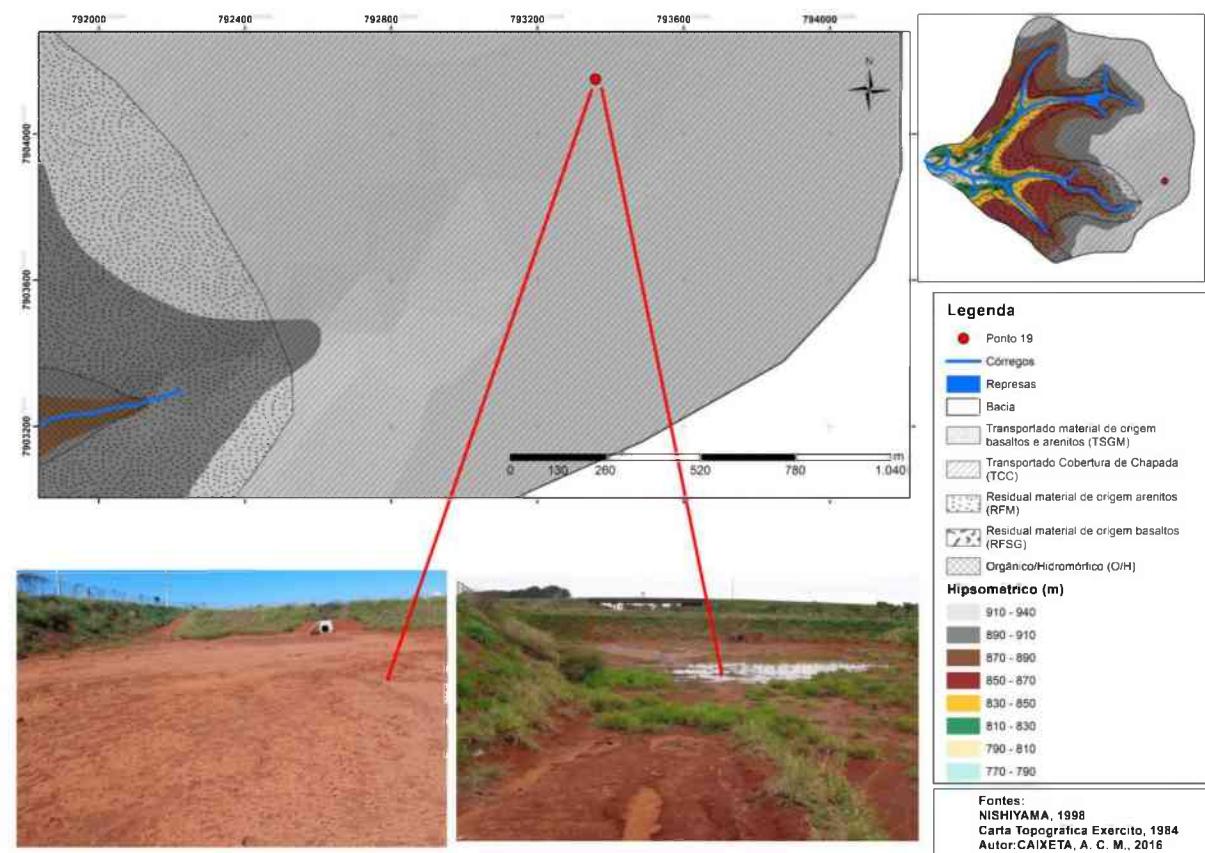
As obras de infraestrutura de drenagem urbana foram realizadas após um crescimento urbano significativo em direção ao setor leste da Bacia do Córrego São Pedro. Dentre essas obras de infraestrutura foram construídos diversos bolsões para infiltração das águas pluviais na unidade TCC (Figura 75), com a finalidade de minimizar as inundações recorrentes na Avenida Governador Rondon Pacheco.

Nesta mesma Figura, percebe-se que, na foto da esquerda, tem-se uma visão interna do bolsão com o material inconsolidado (solo) exposto. Neste bolsão foi retirada a amostra 19, constituída por 67% de argila e silte e 33% de areia, sendo 15% fina, 14% média e 4% grossa e com um Índice de Plasticidade de 24,7%. Grande parte da fração silte provém da aglutinação das partículas de argila (pseudosiltos) que formam os

grumos, assim, elevam a porcentagem da fração silte passando a ter um comportamento de solo, como foi notado neste e nos demais pontos da unidade, aumento da condutividade hidráulica (k).

A maior parte da porcentagem de silte encontrada nesta unidade pode ser creditada a pseudosilte. Este se forma pela aglutinação de lamelas de argila (caulinita) e pelo óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) presente no solo. Uma vez cimentado pelo óxido de Ferro, o solo apresenta uma grande dificuldade para a defloculação, mesmo com uso do hexametafosfato de sódio seguido de agitação enérgica no dispersor mecânico munido de hélice.

Figura 75 – Localização da amostra ponto 19



Elaborado: Autor, 2016

Ainda na Figura 75, a foto do lado direito foi obtida na manhã do dia 1º de novembro de 2016, após uma chuva com uma precipitação média de 37,6 mm durante a

madrugada, de acordo com o INMET. O bolsão, pela manhã, já não apresentava água no seu interior (CORREIO DE UBERLÂNDIA, 1º de novembro de 2016).

A seguir foi feito um estudo das unidades de materiais inconsolidados. Esta análise inicia com a caracterização táctil-visual do solo e é baseada principalmente conforme a cor, a textura e resistência do solo ao trado. Na sequência apresenta-se outro subtópico com a caracterização de cada unidade, para isto, utilizou-se os dados de granulometria, índice de plasticidade e permeabilidade. E por fim, um tópico com a análise dos mapas temáticos elaborados para a bacia do Córrego São Pedro.

### **a) Cor**

O contato inicial com o solo é a cor, que pode ser oriunda de diversos fatores como a composição mineralógica e o grau de umidade do solo. No caso da área de estudo, pode-se caracterizar a origem do material residual a partir do basalto ou de arenito, que influenciam no teor de  $Fe_2O_3$  no solo e de minerais maficos ou siálicos.

A matéria orgânica pode ser detectada pela cores escuras nas matizes de cinza a preta. A alta concentração de óxido de ferro pode ser indicada pela cor vermelha no solo. Conforme a concentração vai diminuindo a cor do solo muda para o amarelo.

Ao analisar as cores presentes nas amostras de cada unidade, possibilitou-se a compreensão da presença de água. Para considerar a cor do solo é necessário identificar três elementos: o matiz (cor pura), o valor (claridade) e a croma (relação da cor com a tonalidade) (Quadro 16). As matizes são classificadas de acordo com a cor, como por exemplo, *red* “R”, *yellow* (Y) entre outros e os percentuais de valor e croma.

O Quadro 16 apresenta a classificação das unidades de acordo com a classificação da “Carta Munsell”. Neste mesmo quadro verifica-se que há presença de tons de vermelho em praticamente todas as unidades, exceto na unidade O/H. Com destaque para a unidade TCC com a classificação vermelho – escuro 2,5YR, que é tida como uma boa drenagem e ocorre em aproximadamente 50% da área da bacia.

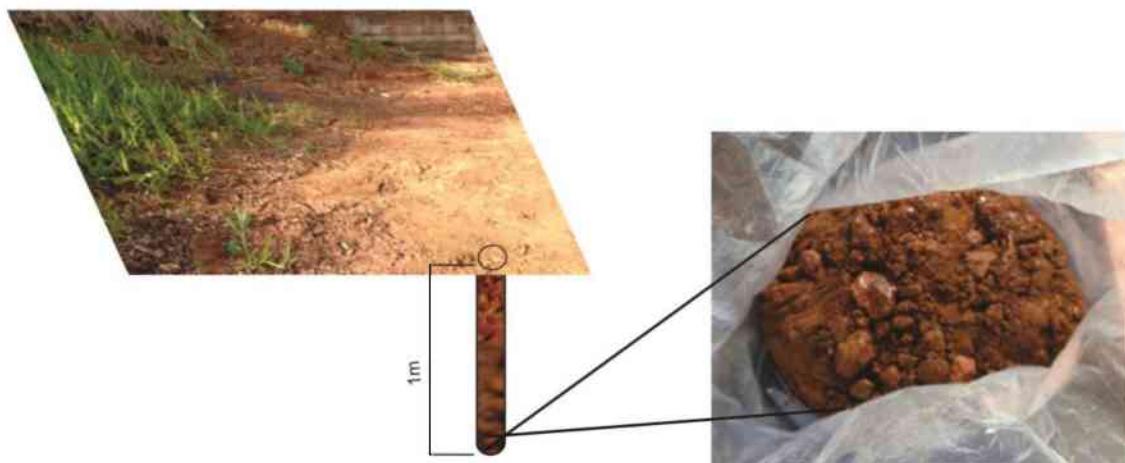
Quadro 16 – Classificação de cores das Unidades de materiais inconsolidados

Unidade	TSGM	TCC	RFM	RFSG	O/H
Cor	vermelho – escuro 2,5YR	vermelho-escuro 2,5YR	matizes de vermelho 2,5 YR – 5,0 YR	vermelho- escura, arroxeado, ocre amarelada.	amarelada, ocre, e branco acinzentada,
Amostra					

Elaborado: Autor, 2016

Outra unidade que mostra indicativos de uma boa drenagem é a unidade RFM, mas com uma significativa resistência à penetração do trado. No perfil esquemático da Figura 76 percebe-se a presença de rocha muito alterada. Após a tradagem de um metro de profundidade nota-se no material coletado a presença de pequenos fragmentos de rocha.

Figura 76 – Perfil esquemático de uma rocha alterada na Unidade Residual material de origem arenitos (RFM)



Elaborado: Autor, 2016

Os solos hidromórficos (O/H) estão no talvegue e/ou adjacentes ao canal, onde o nível freático aflora ou se encontra muito próximo da superfície. Este possui uma coloração mais clara em tons amarelado, ocre e branco acinzentado.

### b) Textura

A caracterização textural pode ser realizada previamente por meio de testes táctil-visual de impregnação e de dilatância, mas foi refinada nos ensaios de granulometria realizados com base nas NBR, conforme já mencionadas no item metodologia.

O teste de impregnação juntamente com a cor e a textura contribuem para a caracterização prévia da textura dos solos das unidades. O Quadro 17 apresenta a caracterização da textura dos materiais inconsolidados das unidades e as características relevantes descritas em campo, tais como: presença de água, grãos maiores (fragmentos de basaltos ou seixos), materiais de origem antrópica (tecnogênico), grumos, entre outros.

Quadro 17 – Característica prévia da textura

Unidade	Caracterização prelimitar Tátil-Visual
<b>TSGM</b>	Grumos de argila, cor marrom e vermelho-escura apresentado de forma heterogênea com pouca variação.
<b>TCC</b>	Argila fina, cor apresentado tons de vermelho com uma homogeneidade, presença em alguns locais de entulho da construção civil. Na profundidade de 20 cm possui alta resistência ao trado.
<b>RFM</b>	Argila siltosa com alta resistência ao trado, com cores em tons de vermelho, homogêneo.
<b>RFSG</b>	Areia argilosa com presença de fragmentos de basalto, cor em tons de vermelho, mosqueado, presença de fragmentos escuros (basalto). Com um perfil heterogêneo até a profundidade de amostragem.
<b>O/H</b>	Areia com presença de pedregulhos, com cores cinza, branco, ocre e cinza escuro. Perfil heterogêneo até a profundidade de amostragem. Presença de água deixando um solo muito mole.

O teste de dilatância (Quadro 18) mostra uma análise preliminar do meio físico com as informações da velocidade de movimentação da água nas unidades de materiais inconsolidados. Segundo o Quadro 18, as unidades TCC, TSGM e RFM apresentam uma movimentação lenta para a formação da lâmina de água na superfície da amostra.

A unidade RFSG possui uma dilatância média, que pode ser compreendida pela presença de fragmentos de basalto e areia na sua constituição. Por fim, a unidade O/H apresenta uma rápida dilatância, em decorrência da presença de água nesta unidade.

Quadro 18 – Características após o teste de Dilatância

UNIDADE	TSGM	TCC	RFM	RFSG	O/H
<b>DILATÂNCIA</b>	Lento	Lento	Lento	Médio	Rápido

### c) Resistência à perfuração com trado

Uma observação em campo, de significativa relevância, foi a resistência à perfuração com o trado, observado previamente pela formação ou não de torrões de solo relacionado, respectivamente, à maior ou menor resistência à perfuração. Para fazer esta diferenciação foi utilizado um trado mecânico de solo para amostragem, com aproximadamente 6 rotações por segundo.

No Quadro 19, apresentam-se os furos em locais de amostragem com material retirado em sua volta. A unidade RFM apresentou uma maior dificuldade para perfuração quando comparada as outras unidades. A maior resistência do solo à perfuração concentrou-se na porção superficial tanto ao trado manual quanto ao mecânico. No caso do trado mecânico, a maior resistência do solo é percebida pela variação da rotação do motor.

Na unidade TCC a presença de entulho resulta na dificuldade para perfuração em razão da heterogeneidade dos materiais. Ao contrário, quando a perfuração é realizada em solo natural pouco alterado pela ação antrópica, a dificuldade foi sempre menor. No ponto de coleta da amostra 76 houve uma significativa dificuldade devido, principalmente, à alteração antrópica que resultou na compactação do solo.

Nas unidades TSGM e RFSG, ocorreram uma dificuldade para perfuração nos primeiros 15 cm, mas ao ultrapassar esse trecho o trado progrediu sem dificuldade. Na

unidade TSGM, percebeu-se também a aderência do solo nas paredes do trado. Esse comportamento foi similar ao da unidade O/H, porém, a dificuldade maior desta unidade para perfuração decorreu da presença de água.

Quadro 19 – Furos para amostras nas unidades de materiais inconsolidados

Unidade	TSGM	TCC	RFM
Amostra			
Unidade	RFSG	O/H	
Amostra			

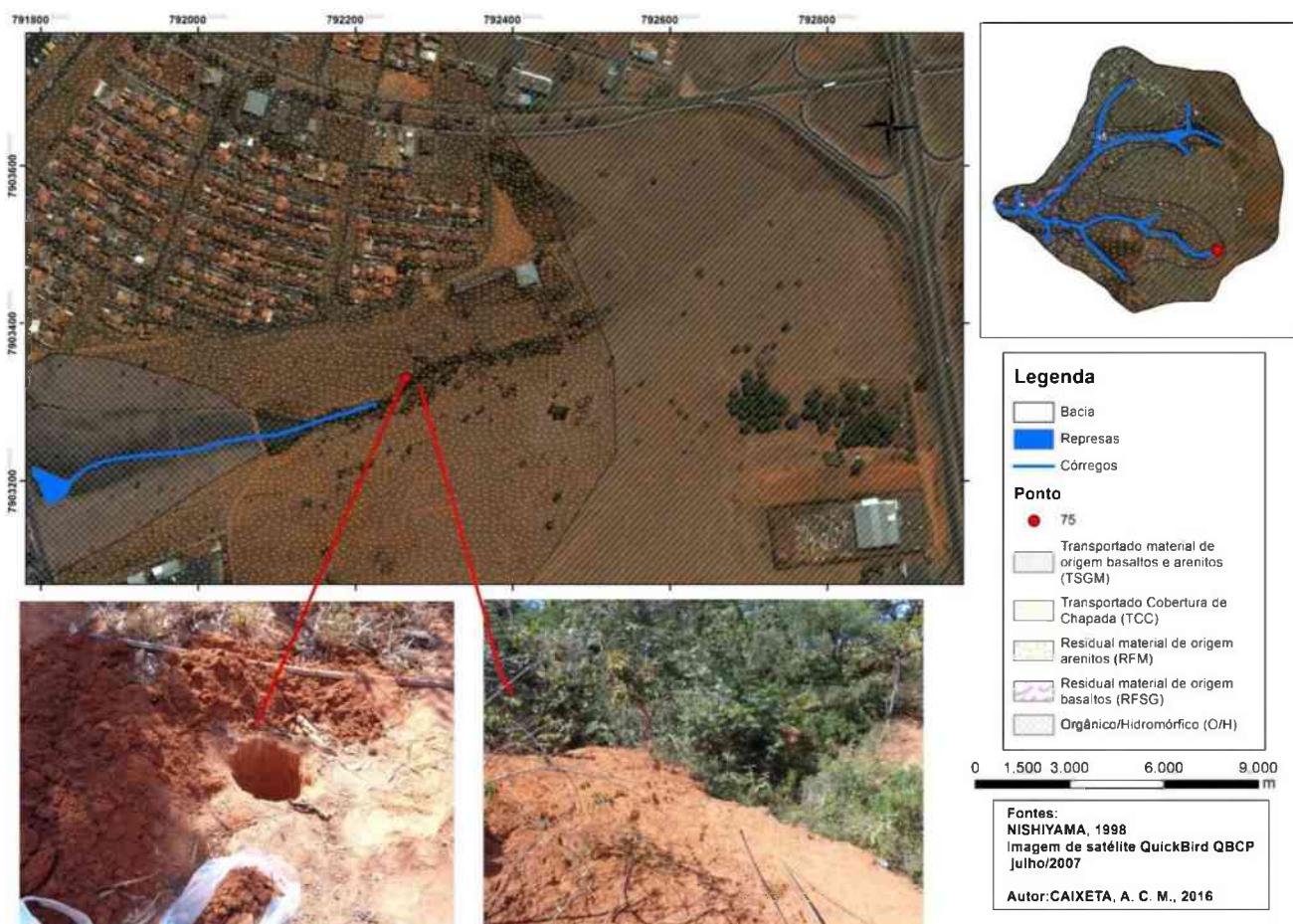
A unidade RFM possui uma voçoroca que está conectada à nascente do Córrego Lagoinha. Esta área possui uma vegetação baixa e o solo exposto. Ao realizar a perfuração com o trado no ponto 75 (Figura 77) verificou-se uma rigidez do solo superficial com uma alta resistência à perfuração do trado. Nota-se que na área adjacente ao furo o solo encontra-se exposto, com taludes em acentuado declive e uma vegetação de pequeno porte próximo ao canal.

Na amostra do Ponto 75 verificou-se que esta área possui características tanto da unidade TCC com aproximadamente 60% de argila, quanto da unidade RFM pela

granulometria de aproximadamente 20% de areia, índices de consistência e análise tátil visual apresentaram resultados semelhantes.

A Figura 77 apresenta a localização do ponto de amostragem na bacia do Córrego São Pedro e as unidades de material inconsolidado presentes. Percebe-se que há uma parte da voçoroca na unidade TCC que se caracteriza como transição de unidades.

Figura 77 – Localização da amostra 75



Elaborado: Autor, 2016

A voçoroca encontrada na área de estudo aparentemente está ativa, visto que possui uma vegetação de pequeno e médio porte. Esta apresenta geometria linear de crescimento e aparentemente não possui ramificações.

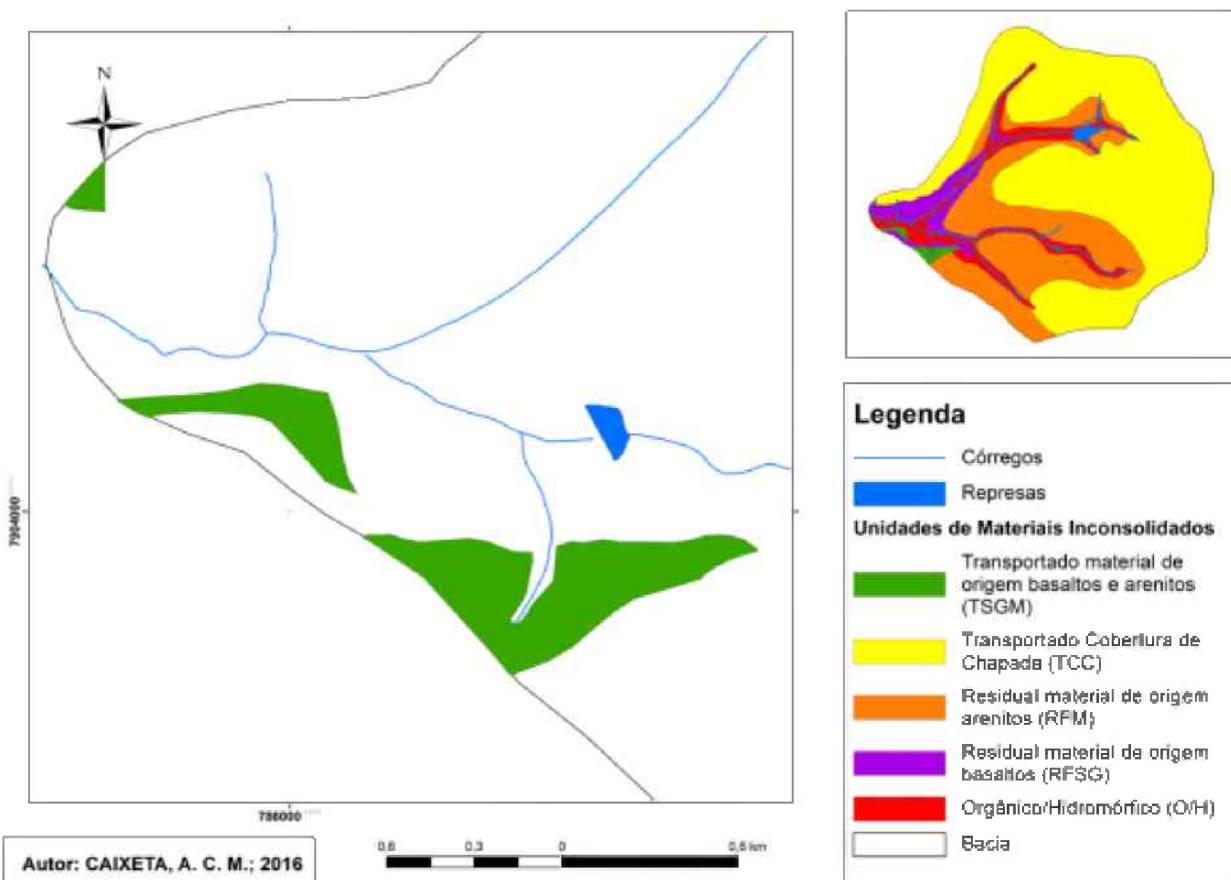
## 6.1. Unidades de Materiais inconsolidados

Apresenta-se a seguir a caracterização das unidades de materiais inconsolidados e os resultados das análises granulometria e dos índices de consistência (limites de liquidez - LL e plasticidades – LP e índice de plasticidade - IP).

### a) Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM)

A unidade TSGM é próxima da foz do córrego São Pedro no rio Uberabinha. Esta é caracterizada principalmente pela presença dos materiais geológicos oriundos do basalto e o arenito. A Figura 78 mostra a localização da unidade na bacia. Percebe-se nesta mesma Figura que a unidade ocupa uma pequena área na bacia, mas com uma heterogeneidade do material transportado, que não é encontrada nas demais unidades faz limite com o residual material de origem arenito (RFM), o residual material de origem basalto (RSGM) e orgânico/hidromórfico (O/H).

Figura 78 – Distribuição da Unidade do Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM) na bacia do Córrego São Pedro.



A TSGM está situada entre as cotas de 780m a 840m nas porções de baixa encosta ou em fundo de vale, da mesma forma que os RFSG. Situa-se próxima aos corpos d'água, com destaque para uma área desta unidade em contato com a unidade orgânica/hidromórfico (O/H). A TSGM possui uma área de extensão significativa no entorno de um canal afluente do Córrego Lagoinha.

Ao analisar previamente o material desta unidade em campo pode-se classificá-lo como um argilo-siltoso, devido a estes se originarem da contribuição de materiais oriundos das formações Serra Geral e Marília (TSGM). A Figura 79 mostra o solo 49 e a formação de grumos após a retirada do material superficial. Já a Figura 80 apresenta a amostra 49 que também exibe os agregados de argila a 1 metro de profundidade.

Figura 79 – Furo da amostra 49 com a presença de grumos.



Foto: Autor, 2016

Figura 80 – Amostra 49 com presença de grumos.



Foto: Autor, 2016

A partir dos resultados de ensaios de granulometria apresentados na Tabela 5, verifica-se uma heterogeneidade na composição textural das amostras de solo (Figura 82). Porém, as partículas como finos (silte e argila, além dos agregados de argila de dimensões de silte) representam mais de 50% em peso. A fração fina do solo, sobretudo a argila determina o comportamento em relação à infiltração da água no sentido de sua redução.

Tabela 5 – Resultados de análises granulométricas realizadas em amostras da Unidade do Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM)

<b>Amostra</b>	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia</b>			<b>Pedregulho</b>
			<b>Fina</b>	<b>Média</b>	<b>Grossa</b>	
<b>44</b>	42,0	25,0	15,0	7,1	0,9	0,0
<b>47</b>	51,0	24,0	13,0	10,0	1,2	0,8
<b>49</b>	20,0	48,0	8,0	6,3	8,1	9,6
<b>50</b>	30,5	21,0	3,5	7,6	2,9	34,5
<b>54</b>	15,0	10,0	6,0	11,0	6,6	51,4
<b>Média</b>	31,7	25,6	9,1	8,4	3,9	19,3

Elaborado: Autor, 2016

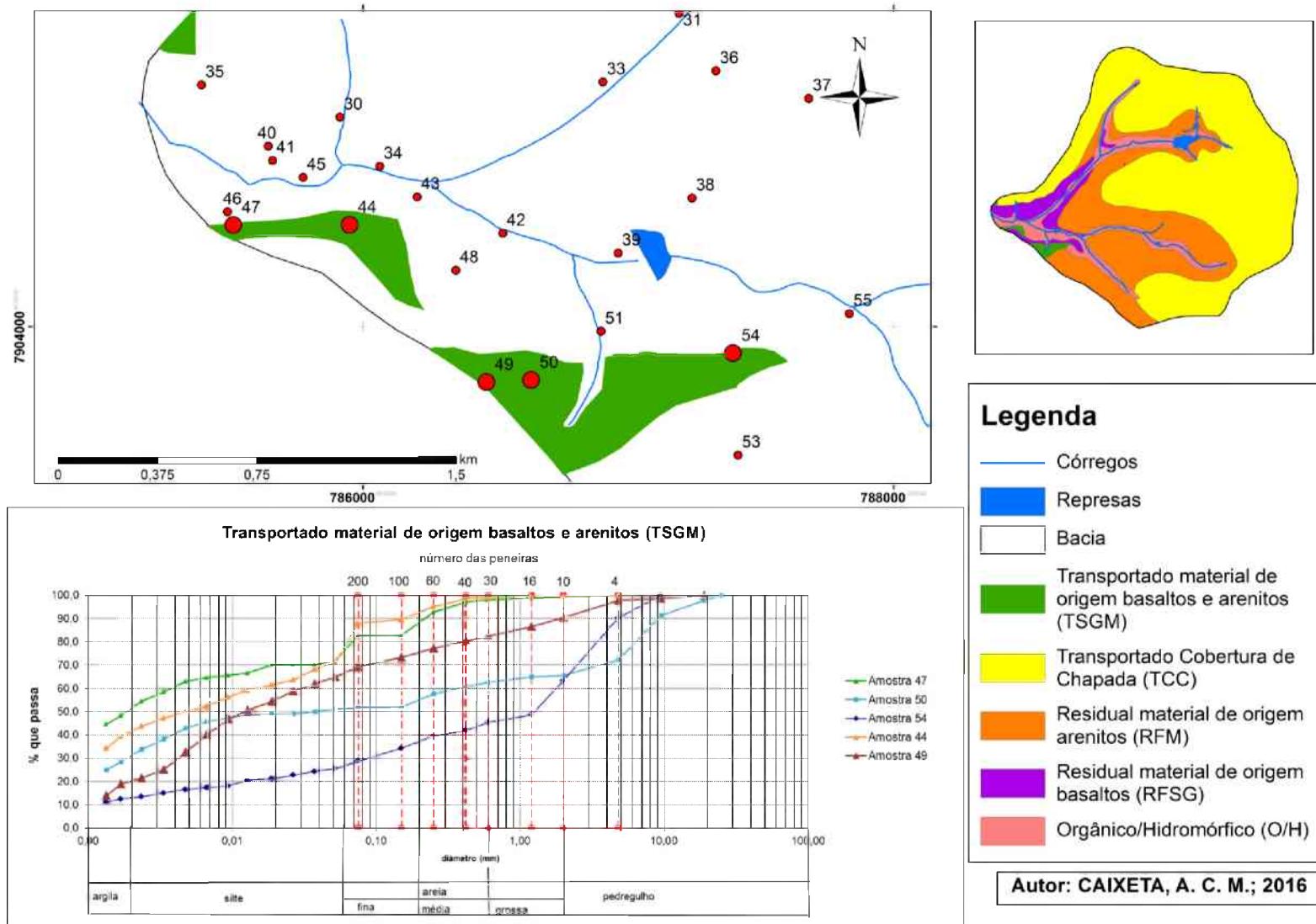
A Figura 81 mostra o solo coletado no furo 50 com presença de grumos e partículas de dimensões de pedregulho (seixos). Estas últimas confirmam a procedência dos solos dessa unidade com contribuição de arenitos da Formação Marília e basaltos da Formação Serra Geral (Figura 82).

Figura 81 – Amostra coletada no furo 50 com a presença de grumos e pedregulhos



Foto: Autor, 2016

Figura 82 – Curva de distribuição granulométrica e o mapa de localização das amostras da unidade “Transportado material de origem basaltos e arenitos (TSGM)”



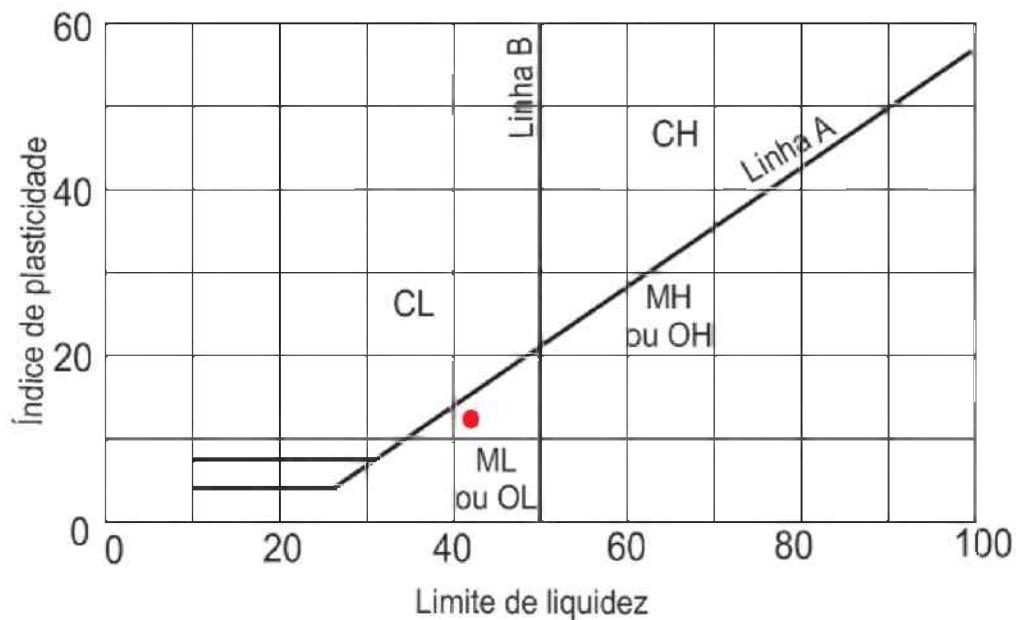
Dentre as amostras analisadas destaca-se a amostra do ponto 54, que apresentou mais de 50% das partículas na fração como pedregulhos e 25% argila e silte. A Figura 82 apresenta o gráfico da granulometria das amostras desta unidade juntamente com o mapa de localização dos pontos amostrados na Bacia do Córrego São Pedro.

Percebe-se que as amostras 50 e 44 estão situadas ao centro da unidade e apresentam uma heterogeneidade dos grãos de maior granulometria, que é possível ser compreendido pelo material de origem. O aspecto que diferencia visualmente os materiais inconsolidados TSGM do RFSG é a presença de materiais rudáceos (seixos e concreções limoníticas).

Em relação ao Índice de Plasticidade as amostras se comportaram de forma mais homogênea, com um valor médio de 12,2%. Quanto ao Limite de Liquidez (LL) a média foi de 42,2% e o Limite de Plasticidade apresentou média de 30%.

De acordo com Pinto (2006), a Classificação do Sistema Unificado de Solos utiliza a granulometria e o índice de plasticidade. Nesta unidade os valores encontrados para as partículas finos (silte e argila) foram superiores a 12%. Com isto, a classificação da amostra é definida pela carta de plasticidade (Figura 83).

Figura 83 – Carta de Plasticidade



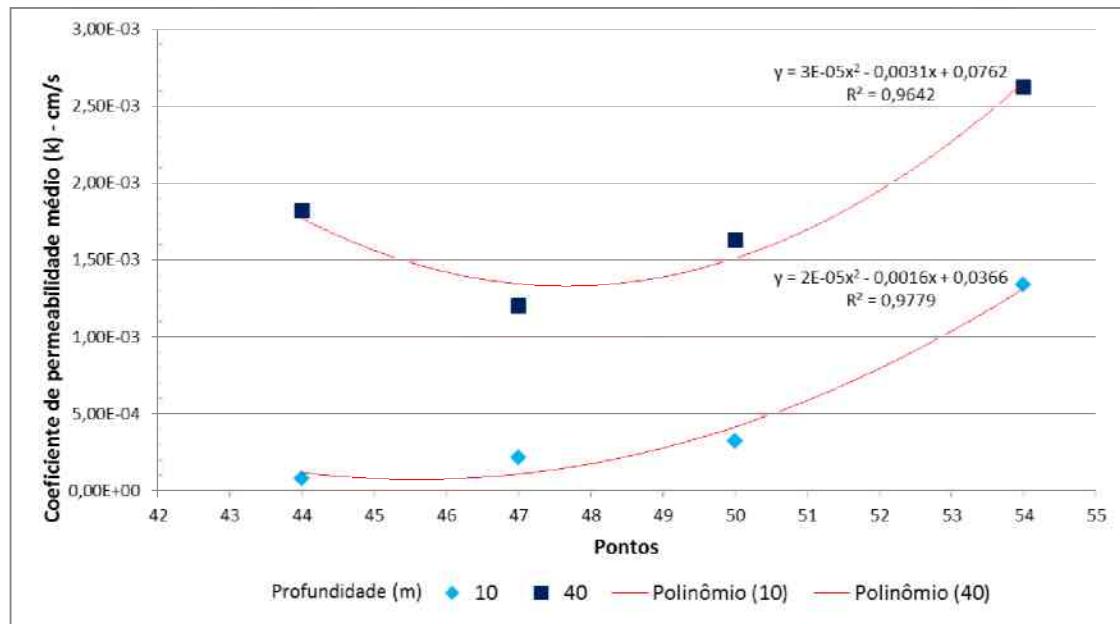
Fonte: PINTO, 2006, p. 68

Com os valores apresentados verifica-se que os solos desta unidade podem ser caracterizados como solos siltosos (M) por se encontrar no muito próximo a “Linha A”. Por outro lado, a unidade apresenta o IP = 16,17% caracterizado próximo a “Linha A”, o que também pode ser classificada como argilosa (C). Nesta unidade os valores do LL resultaram em uma média de 42,2%, o que determina como sendo solos de baixa compressibilidade (L). Como ambos os valores obtidos está próximo à reta “A” considera-se que esta unidade é classificada com um solo ML - CL.

Desta forma, a baixa compressibilidade comprova que o solo sofre pouca deformação favorecendo uma estabilidade. Além disso, quando a argila se agrupa formando os agregados maiores, estes determinam um comportamento semelhante a de solos siltosos, portanto mais susceptíveis à infiltração de água. Para compreender a dinâmica de movimentação da água no seu interior, em especial a sua permeabilidade, é necessário também compreender o seu comportamento na natureza.

De posse da classificação do solo é possível calcular o coeficiente de permeabilidade desta unidade para as profundidades de 10 e 40 cm. Estes apresentaram, respectivamente, as médias de  $4,88 \times 10^{-4}$  e  $1,82 \times 10^{-3}$  cm/s. A Figura 84 apresenta o gráfico com os valores de permeabilidade para as amostras desta unidade.

Figura 84 – Gráfico com os valores do coeficiente de permeabilidade

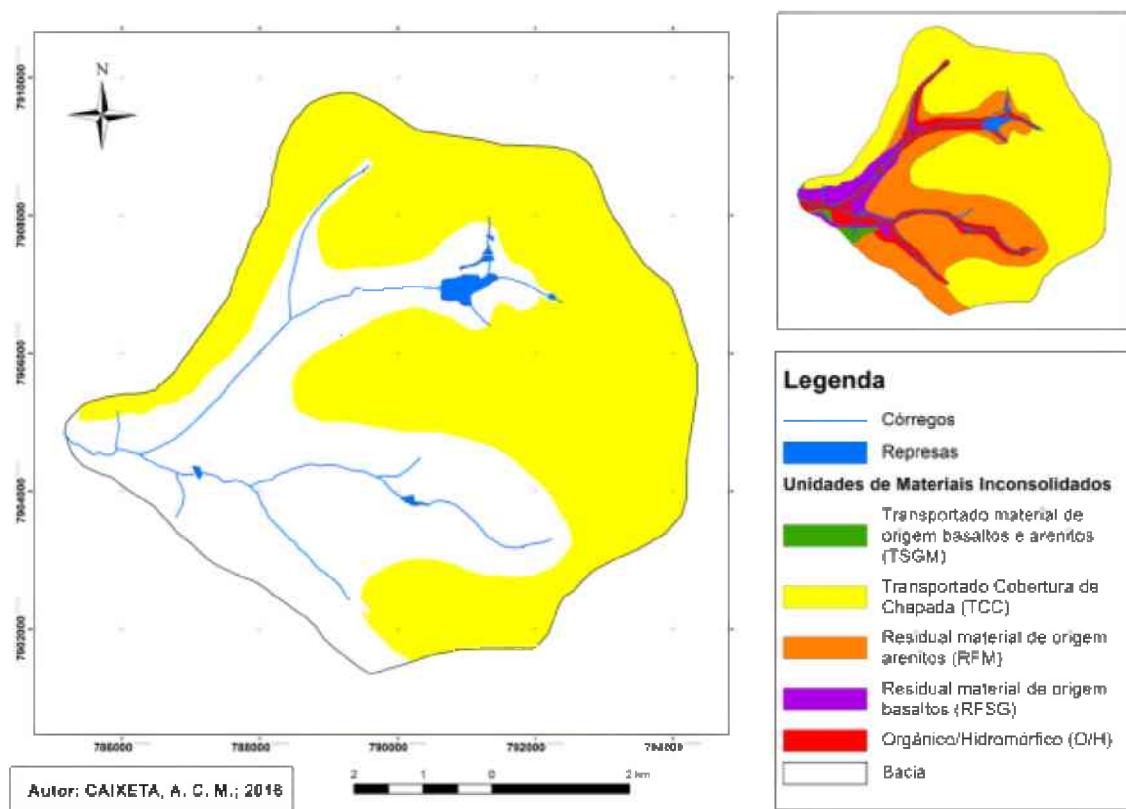


Ao integrar os dados classificação do solo e o coeficiente de permeabilidade do solo para as profundidades de 10 e 40 cm, possibilitou-se o entendimento dos fatores que interferem na infiltração vertical das águas das chuvas. Conforme o valor médio obtido de  $1,82 \times 10^{-3}$  cm/s para permeabilidade na profundidade de 40 cm, contra  $4,88 \times 10^{-4}$  cm/s para a profundidade de 10 cm, percebe-se que a camada superficial do solo constitui uma barreira à infiltração da água da chuva, o que consequentemente favorece o aumento do escoamento superficial em episódios de chuvas intensas.

### b) Transportado Cobertura de Chapadas

Esta unidade, na Bacia do Córrego São Pedro, encontra-se representada na Figura 85.

Figura 85 – Localização da Unidade do Transportado Cobertura de Chapadas (TCC)



A espessura máxima da unidade TCC na área estudada pode chegar a 30 metros. Valores predominantes de declividade nas áreas de ocorrência da unidade situam-se no intervalo compreendido entre 0 a 5 graus. Outra característica relevante desta unidade é

o seu material de origem que ainda não foi precisamente determinada, mas caracterizada pela predominância da fração argila (Tabela 6). A Figura 86 apresenta o bolsão presente na unidade TCC com uma significativa presença da fração argila.

Figura 86 – Exposição de material inconsolidado argilo-arenoso em uma bacia de acumulação de águas pluviais.



Foto: Autor, 2016

Resultados da análise granulométrica evidenciaram uma variação significativa nas porcentagens da fração fina do solo (argila e silte), igualmente verificada na fração grossa do solo (areia e pedregulho), que pode ser observada na Figura 87.

Figura 87 – Furo e amostra da Unidade TCC



Foto: Autor, 2016

Tabela 6 – Granulometria das amostras da Unidade do Transportado Cobertura de Chapadas  
(TCC)

Amostra	Argila	Silte	Areia			Pedregulho	LL	LP	IP
			Fina	Média	Grossa				
<b>1</b>	17,2	5,8	21	43	6	7	22,5	13,5	9
<b>6</b>	27	13	25	24	5	6	33	22,4	10,6
<b>8</b>	34	18	17	27,5	3,5	0	48	23,36	24,64
<b>9</b>	50	20	12	9	1,5	7,5	47,5	30,4	17,1
<b>10</b>	7	12,5	18,5	18,5	5,4	38,1	Não Plástico		
<b>14</b>	20,5	24,5	20	22	4,3	8,7	46	27,78	18,22
<b>15</b>	34	26	21	16,3	1,9	0,8	61	30	31
<b>16</b>	40	26	13	16,1	4,9	0	63	32	31
<b>17</b>	58,5	18,5	9	12,7	1,3	0	53,5	28,5	25
<b>18</b>	23	22	18	28,3	7,7	1	56,5	37	19,5
<b>19</b>	39	28	15	14	4	0	64	39,3	24,7
<b>20</b>	10	19	31	32	8	0	43	25,86	17,14
<b>21</b>	27	20	23	26	4	0	54,5	29,8	24,7
<b>22</b>	26	20	28	22	4	0	52,5	37,6	14,9
<b>23</b>	13,5	24,5	37	20	5	0	55,5	37,6	17,9
<b>24</b>	1	20	48	26,3	3,3	1,4	32,5	20,6	11,9
<b>28</b>	7	15	42	14,6	1,4	20	55,5	37,6	17,9
<b>67</b>	52	7	26	13,3	1,7	0	38,7	32,01	6,69
<b>76</b>	71	10	5	12,3	1,7	0	53,5	28,5	25
<b>Média</b>	24,67	23,09	22,61	20,94	3,93	4,76	48,93	29,66	19,27

Elaborado: Autor, 2016

Resultados de análises granulométricas conforme apresentados na Tabela 6 revelam que as amostras de solos da unidade TCC são constituídas por aproximadamente 50% de finos (argila e silte) e 40% por fração areia (fina e média).

Porém, ao analisar individualmente a distribuição granulométrica percebe-se uma variação significativa nas porcentagens da fração fina do solo (argila e silte), igualmente verificada na fração grossa do solo (areia e pedregulho).

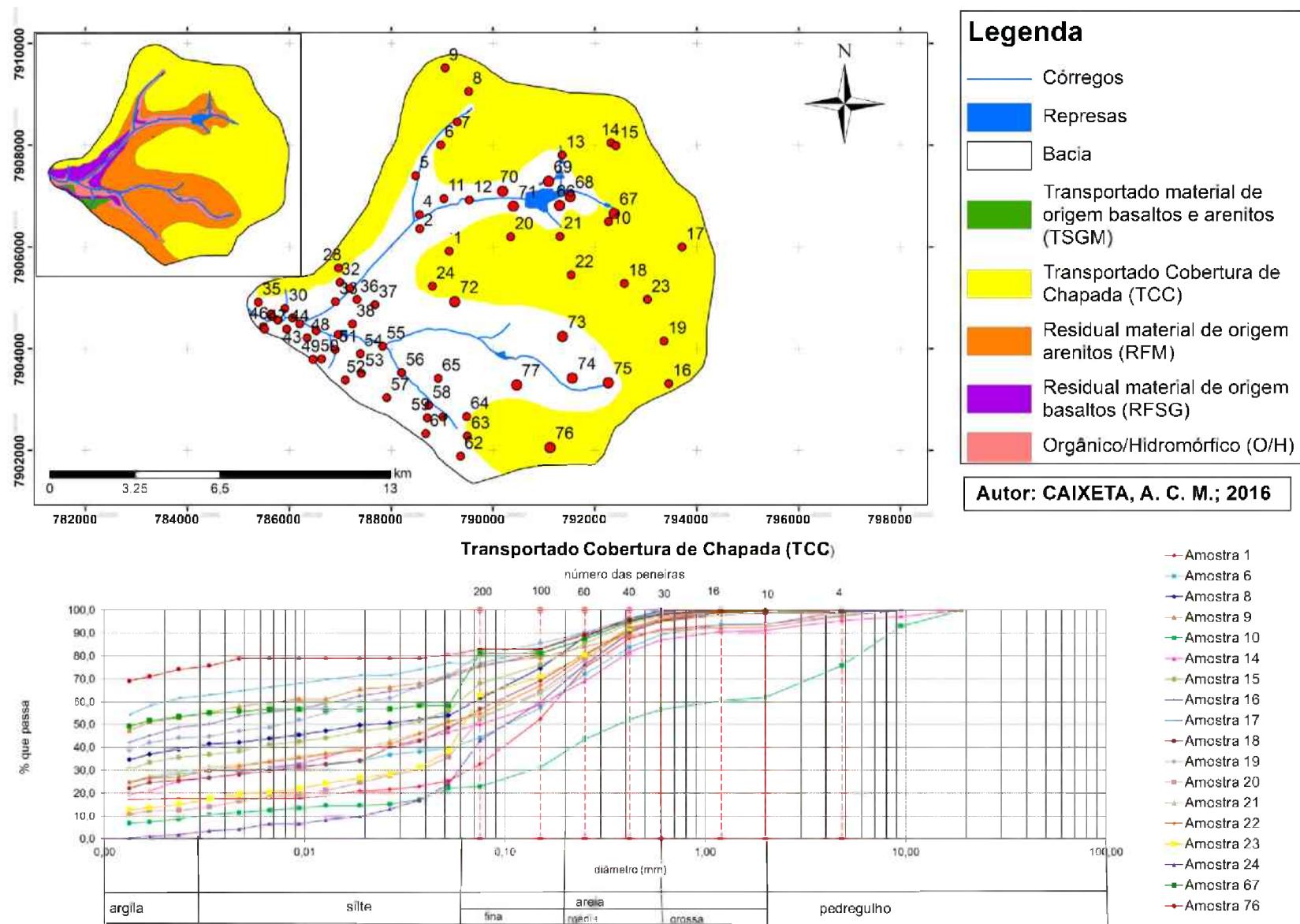
Outro aspecto que chama atenção são os valores anormalmente elevados da fração silte obtidos nas análises granulométricas, chegando ao máximo de 28% em peso. Porcentagens elevadas dessa fração não deveriam ocorrer na unidade TCC, que normalmente deveriam situar em torno de 5% por se caracterizar como solo muito evoluído (latossolo). Tal diferença entre os valores obtidos e o esperado não decorreu de erros na execução dos ensaios, mas sim da baixa eficiência do defloculante empregado para solos ensaiados com características lateríticas, o hexametafosfato de sódio. Este defloculante não consegue romper a cimentação realizada pelo óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) e liberar as partículas de argila. Consequentemente, houve o aumento do teor de silte ou de falso silte.

Embora a análise granulométrica realizada não represente a distribuição real de partículas nos solos da unidade TCC, o comportamento mecânico e hidráulico desses solos é condicionado pela sua textura “natural”.

A amostra 10 apresentou 38,7% de fração pedregulho. O elevado valor dessa fração pode ser explicado pela presença de material exógeno comum em áreas urbanas. A amostra 67, que foi retirada em uma área preservada do Parque do Sabiá, apresentou 52% de fração argila e nenhum pedregulho. Ao comparar as amostras obtidas nos pontos 10 e 67, separados por uma distância linear de 330 metros, verifica-se a mudança na composição granulométrica dos solos devido a intervenção antrópica.

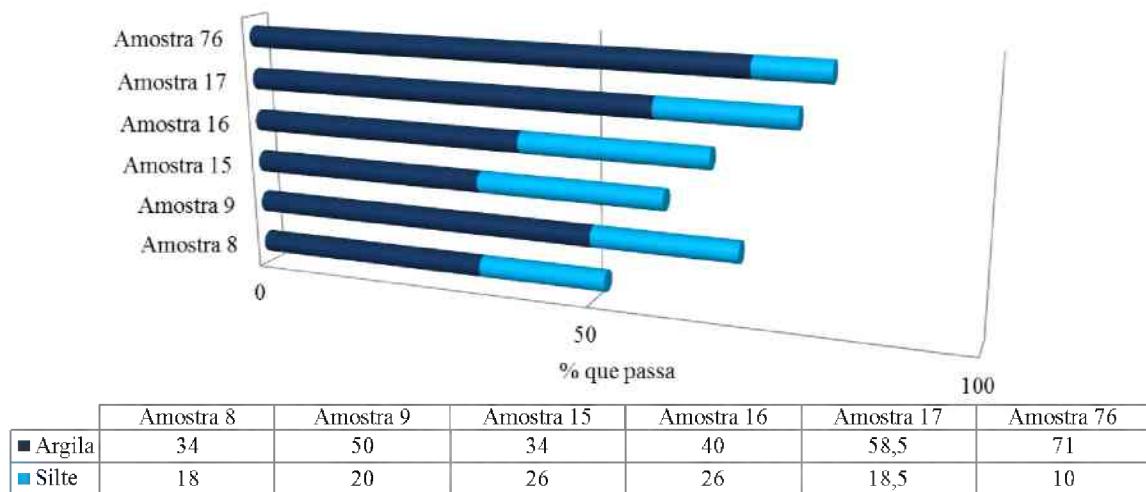
A Figura 88 apresenta o mapa com a delimitação da unidade TCC e localização dos pontos amostrados na Bacia do Córrego São Pedro. Na parte inferior da figura são apresentadas as curvas granulométricas obtidas para as amostras ensaiadas.

Figura 88 – Gráfico da granulometria e mapa de localização das amostras da unidade “Transportado cobertura de chapadas (TCC)”.



Ao analisar as amostras coletadas próximas e adjacentes ao divisor de água da bacia no sentido norte sul, as amostras 9, 8, 15, 17, 16 e 76, percebe-se que estas amostras detêm na média a predominância da fração argila. De acordo com a Figura 89, verifica-se que todas as amostras possuem mais de 50% de finos (argila e silte). Observa-se que as amostras do extremo norte e do extremo sul da bacia do Córrego São Pedro, as amostras 9 e 76, apresentam a média superior a 50% de fração argila.

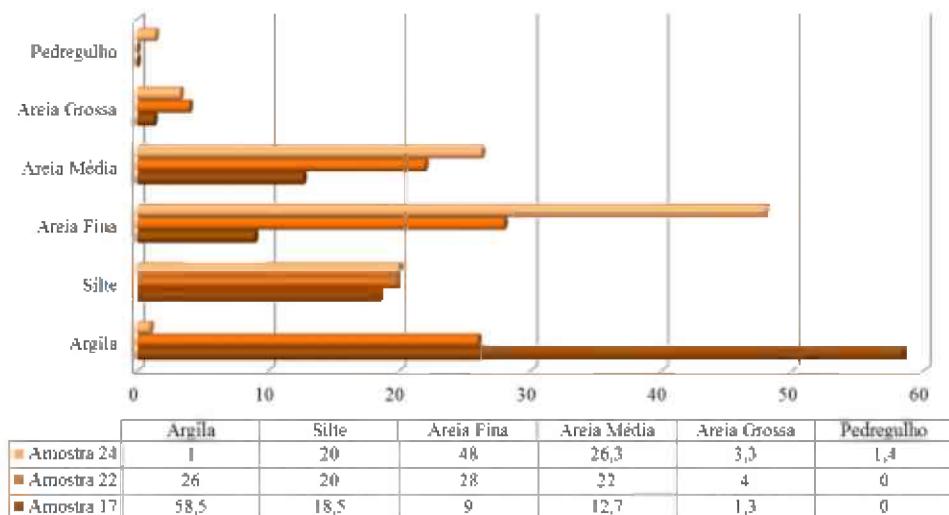
Figura 89 – Gráfico representando o percentual das frações de argila e silte nas amostras próximo ao divisor de água.



Elaborado: Autor, 2016

Nas amostras no sentido leste – oeste (divisor de água sentido foz) observa-se que ocorre a redução de argila e o aumento da areia (Figura 90) pelas amostras 17, 22 e 24 (Figura 90 e Figura 91) com uma distância linear de aproximadamente 4,96 km. A amostra 24 sofre pouca influência da unidade residual material de origem arenito (RFM) por estar próxima do limite das unidades. Esta influência é comprovada pela presença de 48% de areia fina nesta amostra, mas observa-se que esta amostra possui comportamento similar a outras amostras da unidade TCC, como por exemplo, a amostra 28. Outro dado que indica que a amostra 24 pertence a esta unidade são as médias obtidas com uma presença significativa nas areias finas e médias.

Figura 90 – Gráfico da distribuição das frações granulométricas no sentido foz para o divisor de água.



Elaborado: Autor, 2016

Figura 91 – Influência Antrópica no entorno de amostras coletadas.

Amostra	Entorno	Caracterização
24		A amostra foi retirada no fundo do lote vago, na Rua José Paes de Almeida. O lote vago próximo a Avenida João Naves com poucos terrenos vagos no entorno.
22		A amostra foi retirada no lote vago a esquerda da foto. Este lote vago se localiza no cruzamento da Rua João Balbino com a Avenida Segismundo Pereira, este setor da cidade possui maior concentração de lotes vagos.

17		<p>A amostra retirada no bairro Novo Mundo próxima ao encontro da Avenida San Diego com a Avenida Nova York. No local da coleta verificou que a área está relativamente preservada com solo natural.</p>
----	---	--

Elaborado: Autor, 2015

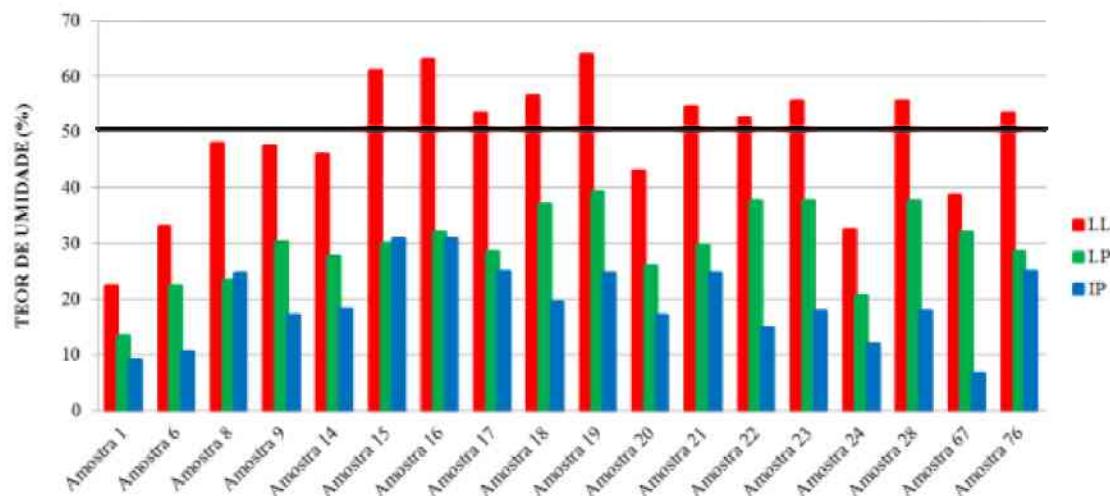
Durante a obtenção das três amostras, observou-se o processo de urbanização no entorno da área em que as amostras foram retiradas. Na amostra 24 é possível constatar que esta sofreu uma maior influência antrópica, devido a sua localização, as edificações maiores do bairro (prédios) e aparentemente ao uso mais intenso do solo. Além disso, ao analisar a granulometria da amostra 24 identificou-se a presença de 1% de argila, que não é característico do solo natural desta área.

As intensidades das características de ação antrópica diminuem no sentido da amostra 22 e, menos ainda, no sentido da amostra 17. Observa-se na Figura 91 que o local de coleta da amostra 17 encontra-se recoberto por uma vegetação de pequeno porte não encontrada nas outras áreas amostradas da unidade.

Como esta unidade possui uma porcentagem de argila significativa, é necessária a análise do índice de plasticidade para compreender o comportamento do solo em relação à infiltração de água nos solos desta unidade. Nessas amostras, obteve-se um índice de plasticidade com um valor médio de 19,27%, obtido pela diferença entre o Limite de Liquidez (LL) que na média foi de 48,93% e o Limite de Plasticidade que na média foi de 29,66%.

A Figura 92 apresenta um gráfico com os valores obtidos para estes três parâmetros. Observa-se que os valores de LL na maioria das amostras estão superiores a 50%, demarcados pela linha preta.

Figura 92 – Gráfico com os limites de liquidez, plasticidade e o do índice de plasticidade para a unidade de Transportado Cobertura de Chapadas (TCC)



Elaborado: Autor, 2016

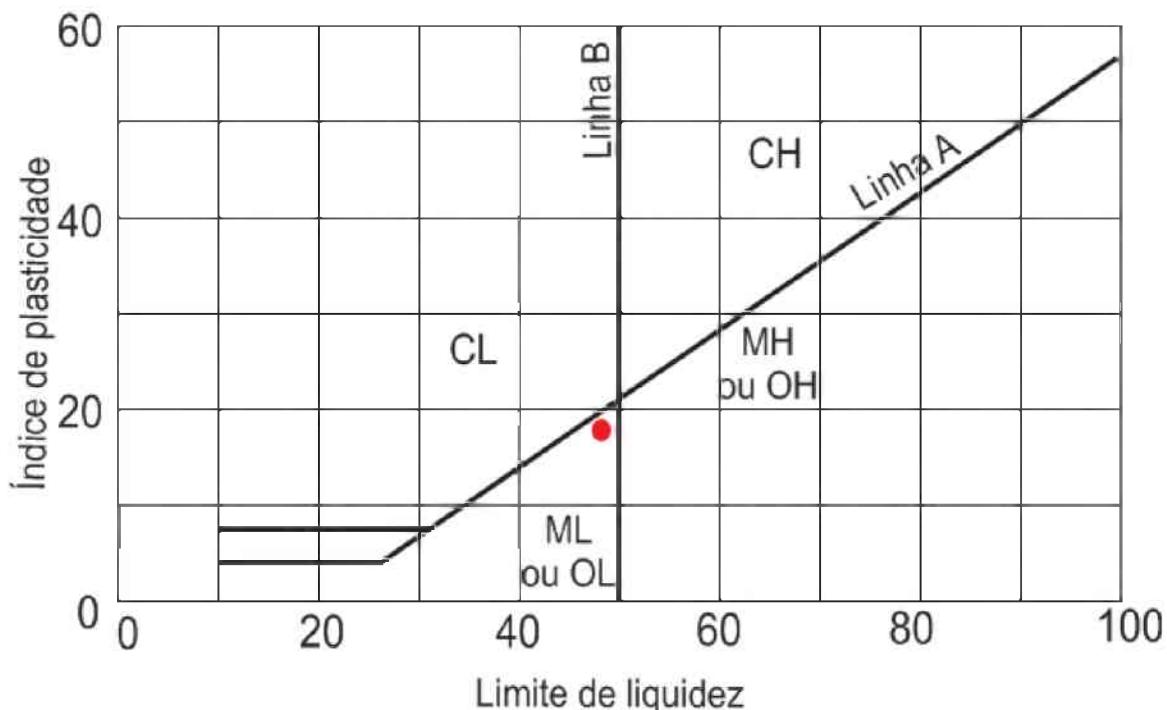
As amostras que tiveram valores mais baixos do que a média foram: 1, 6, e 24. Estas amostras estão localizadas próximo ao limite da bacia sofrendo influência da unidade vizinha (RFM). Entretanto, percebe-se que, em uma proporção menor, acompanham o comportamento das amostras desta unidade.

De acordo com Pinto (2006) a Classificação do Sistema Unificado de solos utiliza a granulometria e índice de plasticidade. Nesta unidade os valores da fração fina do solo (argila e silte), já apresentados, são superiores a 12%. Com isto, a classificação do solo é definida pela carta de plasticidade (Figura 93). Na Figura 93 está representado pelo ponto vermelho a classificação desta unidade.

Na carta de plasticidade, percebe-se que esta unidade está próxima da “Linha A” e da “Linha B”. A “Linha A”, na parte superior, apresenta os solos argilosos e, abaixo, os solos siltosos, como foi descrito na metodologia.

O IP encontrado para esta unidade é 21,11% caracterizando próximo a “Linha A”, portanto classificada como argilosa. Nesta unidade os valores do LL tem uma média de 48,93%, que é classificada como de baixa compressibilidade (L). Como ambos os valores obtidos estão próximos das retas “A” e “B”, considera-se que esta unidade pode ser classificada como um solo ML - CL. Entretanto, como essa média está próxima da “Linha B” algumas áreas podem apresentar uma alta compressibilidade.

Figura 93 – Carta de Plasticidade



Fonte: PINTO, 2006, p. 68

De posse da classificação do solo, é possível calcular o coeficiente de permeabilidade desta unidade para as profundidades de 10 e 40 cm, que foram respectivamente de  $4,89 \times 10^{-4}$  e  $1,08 \times 10^{-3}$  cm/s. A Tabela 7 apresenta os valores de permeabilidade para as amostras desta unidade.

Os valores dos coeficientes de permeabilidade ( $k$ ) na unidade TCC para a profundidade de 10 cm variaram de  $3,01 \times 10^{-5}$  cm/s a  $3,13 \times 10^{-3}$  cm/s, enquanto que para a profundidade de 40 cm variaram de  $3,62 \times 10^{-5}$  a  $6,62 \times 10^{-3}$  cm/s. Nota-se que ocorreu uma ampla variação de  $k$ , desde valores elevados da ordem de grandeza de  $10^{-3}$  cm/s compatível com solos arenosos até a ordem de grandeza de  $10^{-5}$  cm/s que é característico para solos argilosos.

Os pontos 6, 9, 10, 17, 18, 21, 22 e 23 (Tabela 7) seguiram a tendência esperada: menos permeável na profundidade de 10 cm em relação a 40 cm em razão da maior compactação superficial. O ponto 22 da unidade TCC na profundidade de 10 cm foi o único a apresentar o  $k$  na ordem de grandeza de  $10^{-3}$  cm/s. Esse valor elevado de  $k$  para a unidade TCC em condição superficial e em área urbana não deveria ocorrer, exceto em situações específicas como: aterros recentes, solos revolvidos, ação de organismos perfuradores e orifícios resultantes da decomposição de raízes de plantas.

Ressalta-se que no ponto 10, a profundidade de 40 cm não sofreu variação de permeabilidade, que pode ser atribuída a ação antrópica com presença de material impermeável.

Porém, sob condição de baixa interferência humana, em áreas preservadas de cerrado/cerradão, o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) esperado seria da ordem de  $10^{-3}$  cm/s. Ao realizar ensaios de permeabilidade *in situ* com o permeâmetro Guelph na área da bacia do córrego São Pedro, obtiveram-se valores de  $k$  variando entre as ordens de grandeza de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s.

Tabela 7– Valores do coeficiente de permeabilidade

Pontos Prof.	6	9	10	17	18	21	23	22
10 cm	$5,35 \times 10^{-5}$	$6,25 \times 10^{-5}$	$3,01 \times 10^{-5}$	$5,09 \times 10^{-4}$	$9,81 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-4}$	$6,69 \times 10^{-4}$	$3,13 \times 10^{-3}$
40 cm	$1,78 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-4}$	$0,00 \times 10^{00}$	$9,37 \times 10^{-4}$	$1,34 \times 10^{-3}$	$1,69 \times 10^{-3}$	$2,46 \times 10^{-3}$	$6,42 \times 10^{-3}$

Nos pontos 16, 20, 24, 28, 76 e 79 (Tabela 8) os valores de  $k$  foram maiores na profundidade de 40 cm do que na profundidade de 10 cm, quando era esperado o contrário, ou seja, menos permeável em condição mais superficial (10 cm). Estes mesmos pontos apresentaram valores de permeabilidade maiores na profundidade de 40 cm do que de 10 cm, quando deveria ocorrer justamente o contrário.

Essa inversão nos valores de  $k$  pode ser atribuída a algumas causas possíveis: maior atividade biológica em nível superficial (maior concentração de raízes vegetais e de animais escavadores). Valores superiores de  $k$  para a profundidade de 40 cm indica a extensão das atividades antrópicas de compactação até ou além desse nível.

Tabela 8– Valores do coeficiente de permeabilidade

Pontos Prof.	16	20	24	28	76	79
10 cm	$6,16 \times 10^{-4}$	$7,05 \times 10^{-4}$	$5,17 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-4}$	$2,05 \times 10^{-4}$	$3,26 \times 10^{-4}$
40 cm	$6,16 \times 10^{-5}$	$5,35 \times 10^{-4}$	$4,01 \times 10^{-4}$	$3,62 \times 10^{-5}$	$3,62 \times 10^{-5}$	$2,51 \times 10^{-4}$

Para melhor representatividade da variação de  $k$  com a profundidade em áreas urbanizadas seria desejável a realização de ensaios em profundidades maiores, até pelo menos 1 metro da superfície do solo. Assim, mediante os valores obtidos, seria possível compreender a influência da ação antrópica na infiltração das águas pluviais.

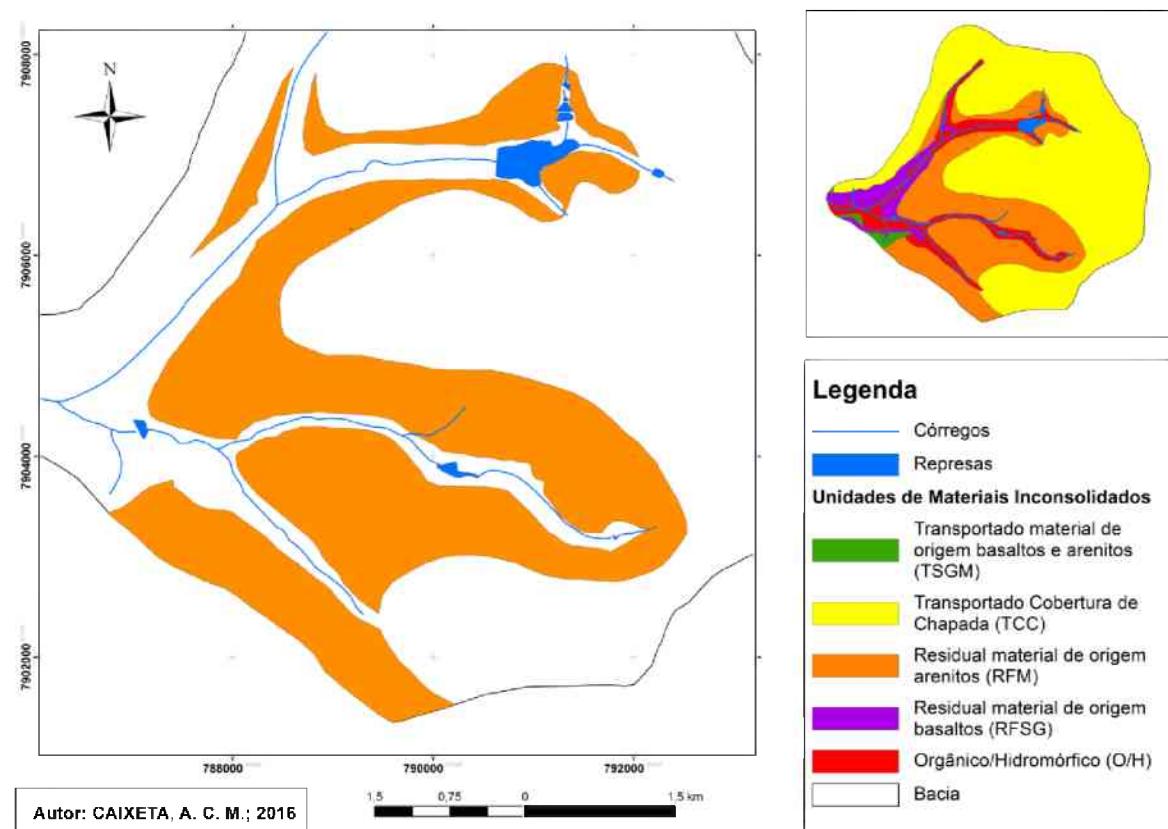
Nesta unidade, foram construídos bolsões para retenção temporária de águas pluviais. Em um destes bolsões (ponto 19) foi realizado o ensaio de permeabilidade que obteve uma alta permeabilidade com valor de  $8,8 \times 10^{-4}$  e  $9,4 \times 10^{-4}$  respectivamente para as profundidades de 10 e 40 cm. Ao relacionar os valores obtidos no bolsão com os valores do ponto 16 (ensaio feito em superfície), percebe-se que na superfície encontram-se valores baixos para permeabilidade e, ao aumentar a profundidade, também ocorre o aumento da permeabilidade. Ressalta-se que estes pontos estão em uma distância linear de aproximadamente 480 metros.

Esta unidade é fundamental para a área de recarga da bacia, por causa principalmente por possuir as maiores cotas altimétricas, por ter aproximadamente 50% da área da bacia e por estar nas proximidades das nascentes. Desta forma, esta unidade é fundamental para o abastecimento e manutenção da bacia.

### **c) Residuais da Formação Marília (RFM)**

Esta unidade se distribui por toda a bacia do córrego São Pedro estabelecendo um contorno em todos os canais de 1<sup>a</sup> ordem (Figura 94). Esta faz limite com as unidades orgânico/hidromórfico (O/H) nas cotas inferiores e a transportado cobertura de chapada (TCC) em cotas superiores. Um destaque desta unidade é a sua proximidade com as nascentes, sendo que a nascente do Córrego Lagoinha está totalmente inserida nesta unidade. A unidade em questão é fundamental para a contribuição de escoamento superficial de águas pluviais aos canais fluviais da bacia do São Pedro e para as inundações na Av. Governador Rondon Pacheco.

Figura 94 – Distribuição espacial da Unidade Residual da Formação Marília na bacia hidrográfica do córrego São Pedro (RFM)



No sentido dos vales fluviais, o tipo argilo-arenoso da unidade TCC dá lugar ao residual da Formação Marília (RFM), identificado pelo aumento do teor de areia e mudança na coloração, de acordo com a carta de cores Munsell Color Chart (1946), passa de vermelho-escuro (2,5YR) a vermelho-amarelo (2,5 YR e 5,0 YR) (Figura 95). O contato entre as duas unidades pode ser distinguido mediante uma suave quebra positiva no relevo originada pela maior resistência à erosão dos litotipos subjacentes da Formação Marília.

Figura 95 – Amostra de material inconsolidado residual arenoso-argiloso (RFM).



Elaborado: Autor, 2015

Residual arenoso-argiloso (RFM), desenvolvido a partir da desagregação de arenitos da Formação Marília, exibe espessuras superiores a 10 metros, podendo atingir valores próximos de 20 metros. Distribui-se continuamente em toda a área mapeada, ocupando principalmente as porções elevadas das encostas fluviais. A coloração apresentada pelos residuais arenoso-argiloso varia entre as matizes de vermelho, sendo caracterizada na carta de cores do Munsell Color Chart (1946) entre 2,5 YR e 5,0 YR. Nas áreas de ocorrência da unidade RFM, a inclinação do terreno situa-se no intervalo entre 2 e 8%.

Outro destaque nesta unidade é a presença de uma voçoroca ativa verificada na Figura 96 o que evidencia certa fragilidade dos materiais arenoso-argilosos. Entretanto, nesta mesma unidade, percebe-se uma compactação superficial intensa percebida pela dificuldade de retirada da amostra no ponto 75 (Figura 97) adjacente a voçoroca e no ponto 73, onde o trado mecânico apresentou grande dificuldade para perfuração (Figura 98).

Figura 96 – Voçoroca no Ponto 75



Foto: Autor, 2016

Figura 97 – Material compactado em subsuperfície da amostra do Ponto 75.



Foto: Autor, 2016

Figura 98 – Dificuldade no início da perfuração no ponto 73.



Foto: Autor, 2016

Resultados de ensaios de granulometria apresentado na Tabela 9 para as amostras desta unidade revela uma composição textural relativamente homogêneas, exceto nas amostras 2 e 38. Verifica-se uma granulometria constituída de aproximadamente 47% de areia (fina e média), 32% de argila e 5,5% de pedregulhos, em média na Figura 99, que mostra a localização dos pontos onde as amostras foram extraídas e as respectivas curvas granulométricas.

Tabela 9 – Resultados das análises granulométricas realizadas nas amostras da Unidade Residuais da Formação Marilia (RFM)

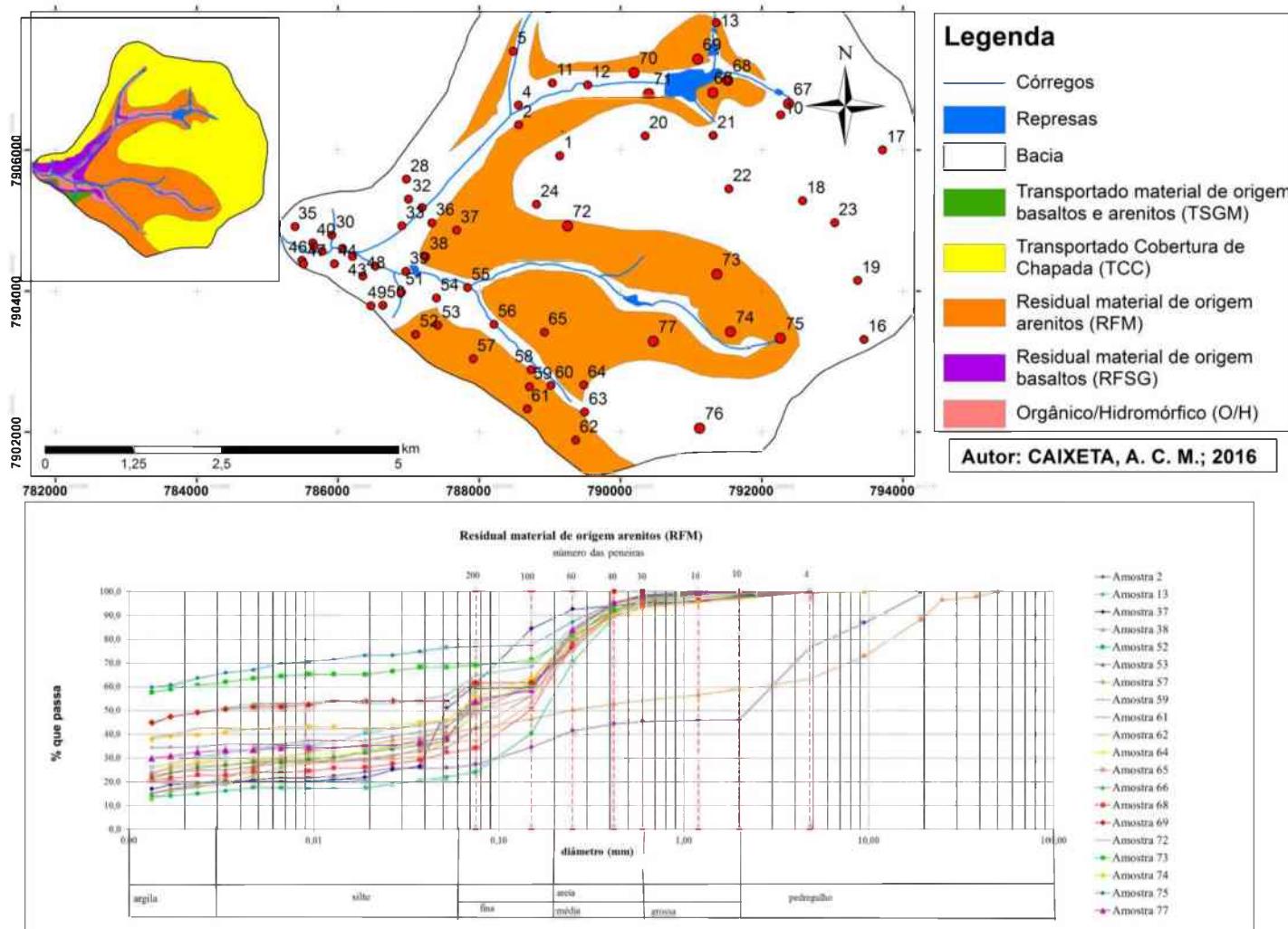
<b>Amostra</b>	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia</b>			<b>Pedregulho</b>
			<b>Fina</b>	<b>Média</b>	<b>Grossa</b>	
<b>2</b>	16,0	9,0	14,0	6,0	1,0	54,0
<b>13</b>	27,0	18,0	24,0	27,3	3,7	0,0
<b>37</b>	17,0	18,0	39,0	20,1	1,6	4,3
<b>38</b>	18	23	8	5	4,7	41,1
<b>52</b>	14,5	8,5	33	37,7	4,1	2,2
<b>53</b>	26,4	14,8	29	28,2	1,8	0
<b>57</b>	28	10,1	29,9	28,9	3,1	0
<b>59</b>	35,0	13,0	24,0	25,8	2,0	0,2
<b>61</b>	48	12	18	19,7	2,3	0
<b>62</b>	27	10	28	31,1	3,9	0
<b>64</b>	28	14	30	25,4	2,6	0
<b>65</b>	26	15	31	25,6	1,9	0,5
<b>66</b>	25	20	26	24,5	3,1	1,4
<b>68</b>	22,0	11,0	32,0	29,3	3,0	2,7
<b>69</b>	48,0	10,0	12,0	26,0	4,0	0,0
<b>72</b>	41,0	7,0	20,0	27,8	4,2	0,0
<b>73</b>	60,0	8,5	6,5	21,9	3,1	0,0
<b>74</b>	40,0	10,0	22,0	21,0	3,9	3,1
<b>75</b>	62,0	14,8	7,2	14,7	1,2	0,1
<b>77</b>	31,0	13,0	27,0	27,3	1,7	0,0
<b>Média</b>	32,0	13,0	23,0	23,7	2,8	5,5

Elaborado: Autor, 2016

Ao analisar as duas amostras destoantes, verifica-se que estas foram obtidas em locais muito próximos da unidade O/H. A amostra 38 ainda possui uma particularidade evidenciada pela elevada porcentagem de pedregulho, com cerca de 41%. Esta composição sugere a contribuição de materiais com maior quantidade de rudáceos na sua gênese. A proximidade do ponto de coleta a um afloramento de basalto com alto grau de alteração intempérica, indica a sua origem a partir de litotipos da base da Formação Marília em contato com os basaltos da Formação Serra geral. Já a amostra 2 foi obtida próximo ao encontro dos Córregos São Pedro e o Jataí, apresentando uma significativa resistência à perfuração do trado.

Observa-se na Figura 99 a dispersão dos locais onde as amostras foram obtidas, sendo que, ao norte da Bacia do Córrego São Pedro não se obtiveram amostras desta unidade, em razão dessa porção da bacia possuir uma densa urbanização.

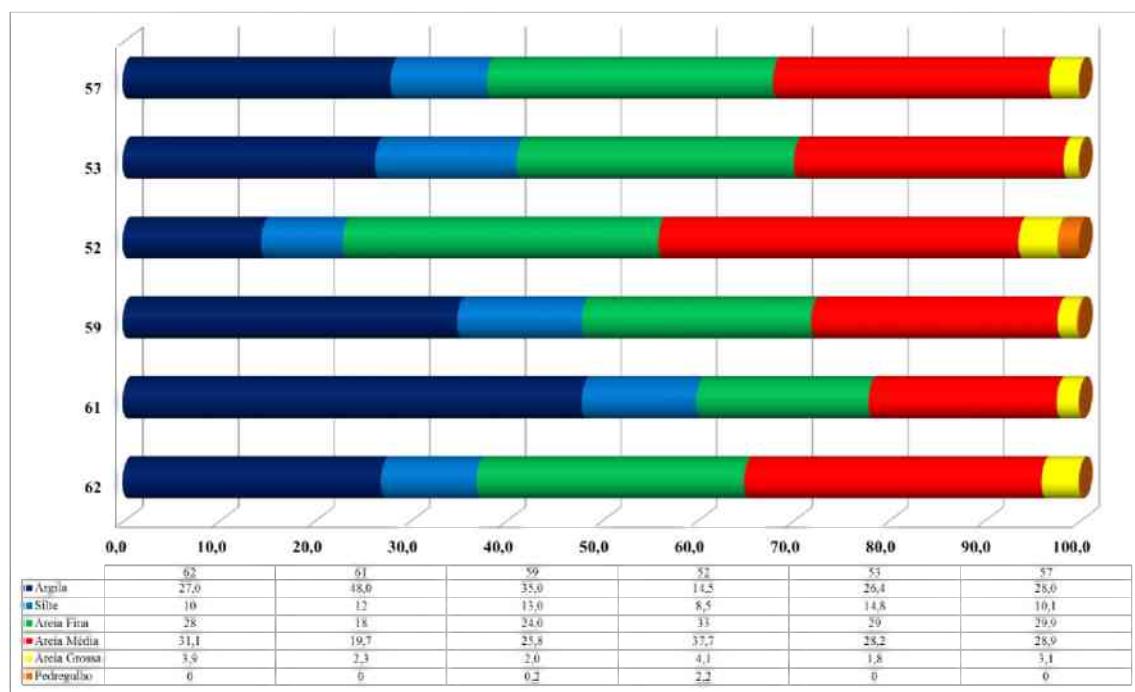
Figura 99 – Mapa com a localização dos pontos e a curva granulométrica das amostras da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM)”



Para facilitar o entendimento e a análise desta unidade, esta foi subdivida em três áreas. A primeira área está situada próxima ao divisor de águas ao sul da bacia. A segunda compreende o centro da unidade, que também corresponde ao centro da Bacia do Córrego São Pedro. E por fim, a terceira área, as porções próximas e dentro do Parque do Sabiá.

As amostras foram obtidas próximas ao divisor de água ao sul da bacia do Córrego São Pedro (Figura 100), com áreas de contribuição direta do Rio Uberabinha e na vertente direta do Córrego Mogi. Estas apresentaram, como o restante das amostras desta unidade, aproximadamente 50% dos grãos de areia (fina e média), 30% de argila e praticamente 0 % de pedregulhos.

Figura 100 – Granulometria das amostras ao sul do divisor de águas da Bacia do Córrego São Pedro da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM)

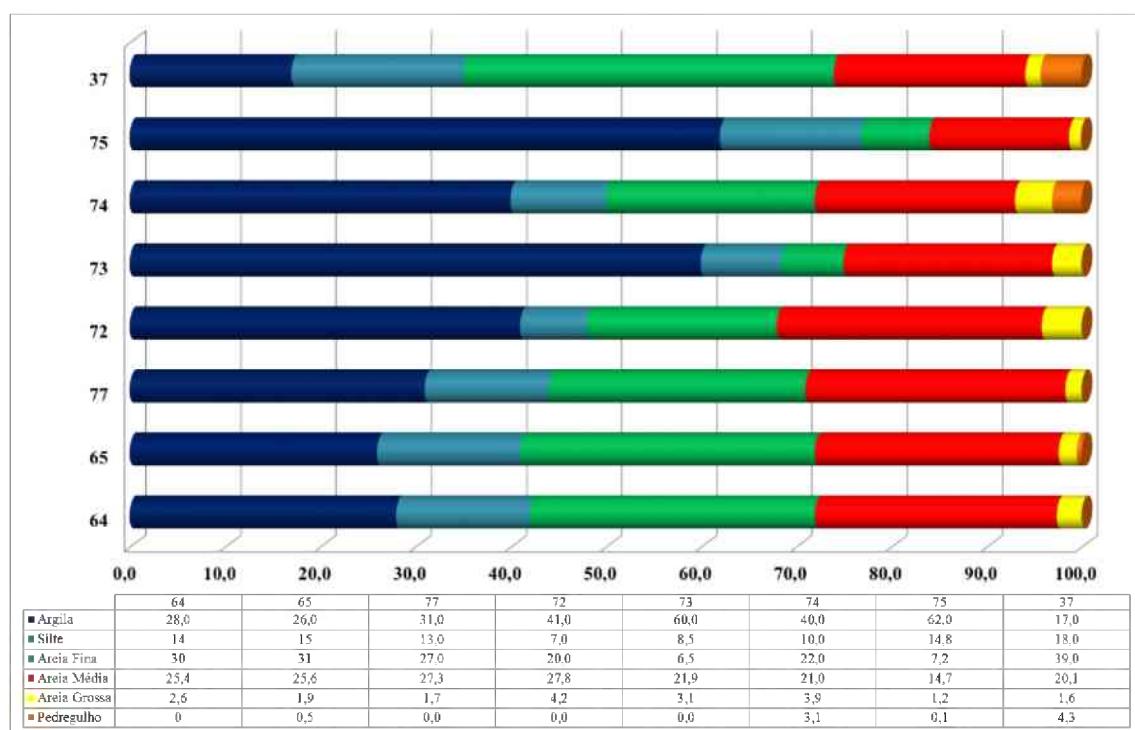


A amostra 61 evidenciou maior porcentagem de argila que as demais amostras. O maior teor de argila pode estar relacionado à localização do ponto de coleta, mais próxima da unidade TCC, na cota de aproximadamente 872 m. Já a amostra 52 apresenta um caráter arenoso, ao contrário da amostra 61, com aproximadamente 70% de areia e 14,5% de argila. Tal condição pode estar relacionada ao material de origem da Formação Marília, com maior teor de areia.

As amostras próximas ao divisor de água ao sul da bacia possuem um comportamento homogêneo. De acordo com a Figura 100, percebe-se pequena variabilidade para todas as frações granulométricas com a fração dos pedregulhos praticamente inexistente.

A Figura 101 apresenta a granulometria das amostras situadas no centro da unidade RFM e próximas ao centro da Bacia do Córrego São Pedro. Esta área contempla principalmente a sub-bacia do Córrego Lagoinha. Nota-se que as amostras que estão entre os Córregos Lagoinha e Mogi (amostras 64, 65 e 77) possuem um comportamento similar na granulometria, aproximadamente 30% de grãos areia fina, seguido por 26% de areia média e 28% de argila.

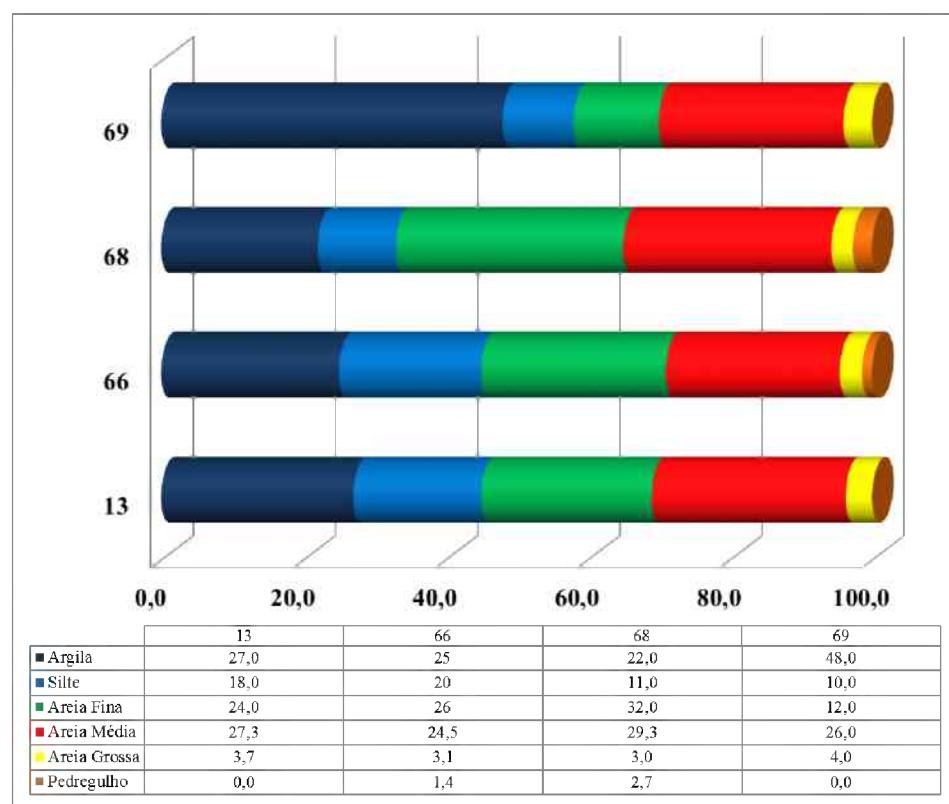
Figura 101 – Granulometria das amostras ao centro da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM)



Na vertente esquerda do Córrego Lagoinha, no sentido foz – nascente, verifica-se o crescimento do teor da argila, identificado pelas amostras 72, 73 e 74, com a redução dos grãos classificados como areia média, mantendo a granulometria da areia fina para praticamente todas as amostras da unidade. A amostra 37 exibe o mesmo comportamento das outras amostras da unidade, com aproximadamente 40% de grãos de areia.

Uma área de destaque desta bacia é o Parque do Sabiá que abrange as unidades TCC, RFM e O/H. De acordo com a Figura 102, nota-se que as amostras possuem um comportamento homogêneo, principalmente para os grãos classificados como areia média, aproximadamente 27%. Estas foram retiradas de solo natural no interior do Parque do Sabiá (amostras 66, 68 e 69), assim como próximo ao parque (amostra 13).

Figura 102 – Granulometria das amostras aproxima e no Parque do Sabiá da unidade “Residual material de origem arenitos” (RFM)



A amostra 69 apresenta uma composição granulométrica distinta das demais amostras, com 48% de argila, 38% de areia (fina e média) e foi obtida próxima à represa. As outras amostras possuem comportamento similar na granulometria. Observa-se a semelhança das amostras 66 e 69 nas Figura 103 e Figura 104. Na Figura 103, verifica-se o material escavado relativamente homogêneo após perfurar 1 metro de profundidade.

Figura 103 – Amostra 66 da unidade “Residual material de origem arenitos” RFM



Foto: Autor, 2016

Figura 104 – Amostra 69 da unidade “Residual material de origem arenitos” RFM



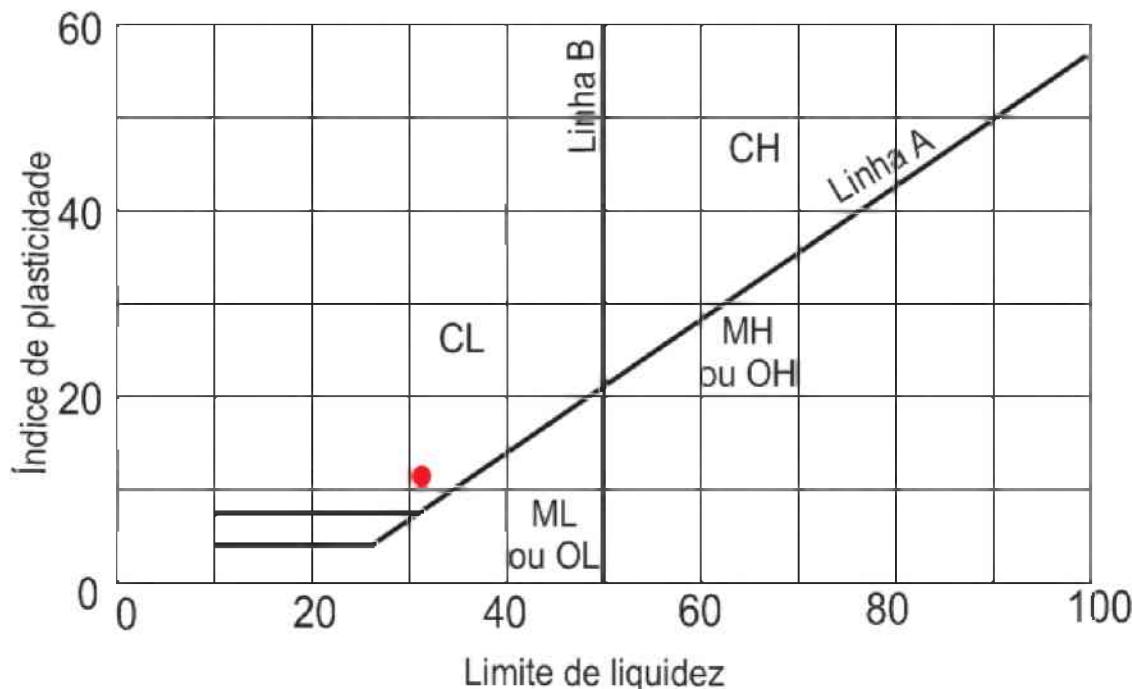
Foto: Autor, 2016

De acordo com Pinto (2006), a Classificação do Sistema Unificado de Solos, quando a granulometria já apresentada é superior a 12% das partículas de grãos finos, ocorre a classificação com os parâmetros definidos pela carta de plasticidade (Figura 105).

Conforme exposto na metodologia, após os ensaios de limites de consistência de Atterberg, obteve-se o índice de plasticidade com um valor médio de 10,9%. Este é obtido pela diferença entre o Limite de liquidez (LL), que resultou na média de 30,9%, e o Limite de Plasticidade, que na média foi de 19,9%. Na Figura 105, está representado o ponto vermelho na carta de plasticidade desta unidade.

Ao lançar os pares de valores médios de  $IP = 10,9\%$  (média plasticidade) e  $LL = 30,9\%$  na carta de plasticidade de Casagrande, o ponto encontrado localiza-se próximo à “Linha A”, assim, esta unidade pode ser classificada como argilosa (C). Nesta unidade, os valores do LL apresentaram a média de 30,9%, o que permite classificar os solos dessa unidade como de baixa compressibilidade (L). Nesse caso trata-se de um solo do tipo CL (argiloso de baixa compressibilidade).

Figura 105 – Carta de Plasticidade



Fonte: PINTO, 2006, p. 68

Mediante ensaios *in situ* com o uso do permeâmetro Guelph foi possível calcular os valores do coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) desta unidade para as profundidades de 10 e 40 cm, cujas médias foram, respectivamente,  $9,68 \times 10^{-4}$  e  $1,34 \times 10^{-3}$  cm/s. As Tabela 10 e Tabela 11 apresentam os valores de permeabilidade *in situ* encontrados para esta unidade.

Os valores dos coeficientes de permeabilidade ( $k$ ) na unidade RFM para a profundidade de 10 cm variaram de  $3,96 \times 10^{-5}$  cm/s a  $4,79 \times 10^{-3}$  cm/s, enquanto que para a profundidade de 40 cm variaram de  $1,12 \times 10^{-5}$  a  $3,48 \times 10^{-3}$  cm/s.

Nota-se que ocorreu uma ampla variação de  $k$ , desde valores elevados da ordem de grandeza de  $10^{-3}$  cm/s compatível com solos arenosos até a ordem de grandeza de  $10^{-5}$  cm/s que é característico para solos argilosos.

Os pontos 37, 38, 53, 57, 61, 62, 64, 72, 73, 74 e 77 (Tabela 10) seguiram a tendência esperada: menos permeável na profundidade de 10 cm em relação a 40 cm em razão da maior compactação superficial. Isto é, valores superiores de  $k$  para a profundidade de 40 cm indica a extensão das atividades antrópicas de compactação até ou além desse nível.

Os pontos 53 e 64 da unidade RFM na profundidade de 10 cm foram os únicos a apresentar o  $k$  na ordem de grandeza de  $10^{-3}$  cm/s. Esse valor elevado de  $k$  nestes locais

pode ser caracterizado pelos vazios urbanos presentes neste local, que gera uma condição de baixa interferência humana. Diante disto, em áreas preservadas de cerrado/cerradão, o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) esperado seria da ordem de  $10^{-3}$  cm/s.

Tabela 10– Valores do coeficiente de permeabilidade

Pontos Prof.	37	38	53	57	61	62	64	72	73	74	77
10 cm	3,01x $10^{-4}$	3,96x $10^{-5}$	1,39x $10^{-3}$	0,00x $10^{00}$	5,35x $10^{-4}$	6,96x $10^{-4}$	1,34x $10^{-3}$	2,68x $10^{-4}$	2,68x $10^{-4}$	1,61x $10^{-4}$	6,16x $10^{-4}$
40 cm	9,33x $10^{-4}$	1,15x $10^{-4}$	3,48x $10^{-3}$	5,17x $10^{-4}$	1,07x $10^{-3}$	1,47x $10^{-3}$	2,46x $10^{-3}$	1,95x $10^{-3}$	1,63x $10^{-3}$	2,33x $10^{-3}$	1,79x $10^{-3}$

Nos pontos 13, 52, 65 e 75 (Tabela 11) os valores de  $k$  foram maiores na profundidade de 40 cm do que na profundidade de 10 cm, quando era esperado o contrário, ou seja, menos permeável em condição mais superficial (10 cm). Essa inversão nos valores de  $k$  pode ser atribuída a algumas causas possíveis: maior atividade biológica em nível superficial (maior concentração de raízes vegetais e de animais escavadores)

Tabela 11– Valores do coeficiente de permeabilidade

Pontos Prof.	13	52	65	75
10 cm	$6,69 \times 10^{-5}$	$1,74 \times 10^{-3}$	$4,79 \times 10^{-3}$	$2,94 \times 10^{-3}$
40 cm	$1,12 \times 10^{-4}$	$3,57 \times 10^{-5}$	$7,49 \times 10^{-4}$	$2,57 \times 10^{-5}$

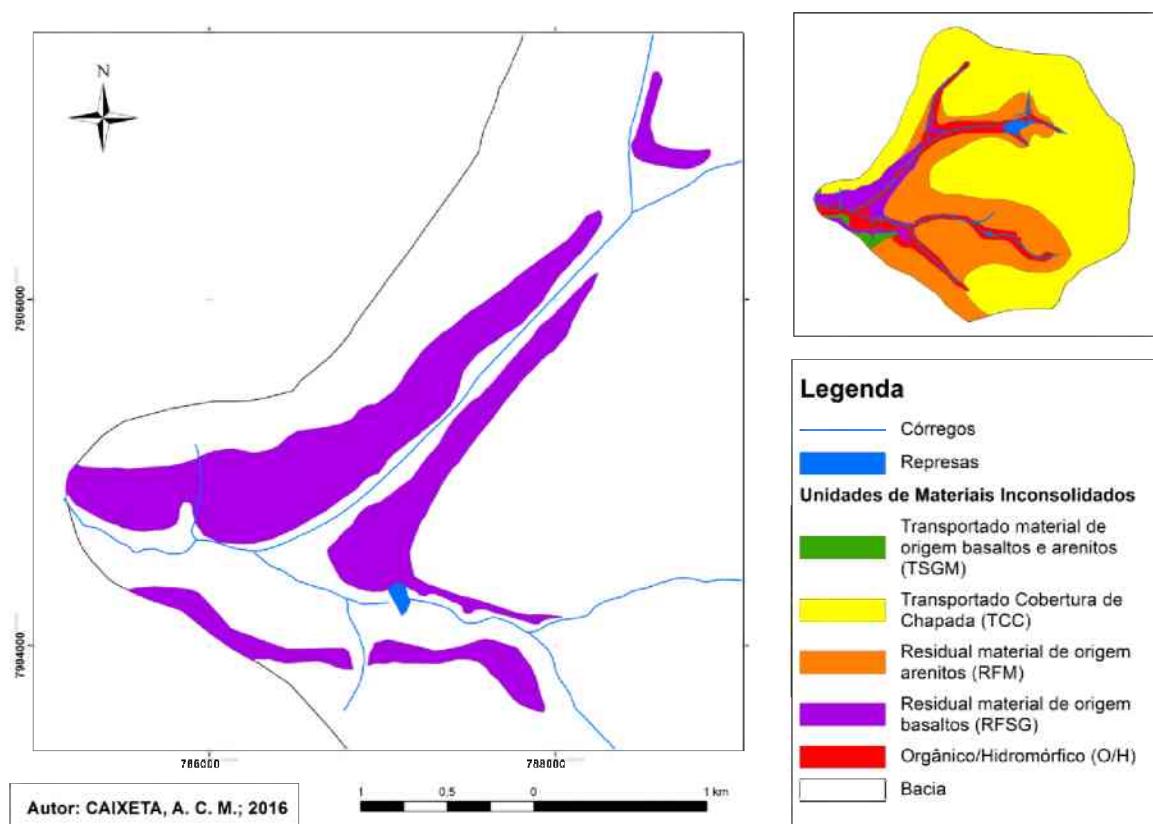
Observa-se que, na Tabela 11, o ponto 13 apresenta uma baixa permeabilidade para as duas profundidades e está localizado próximo de uma das nascentes do Córrego Jataí. Os pontos 52 e 65 são lotes vagos com uma vegetação rasteira e de pequeno porte cujas raízes podem favorecer o aumento da permeabilidade para a profundidade de 10 cm.

Ao realizar ensaios de permeabilidade *in situ* com o permeâmetro Guelph na área da bacia do córrego São Pedro, obtiveram-se valores de  $k$  variando entre as ordens de grandeza de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s.

#### d) Transportado material de origem basaltos (RFSG)

A unidade RFSG (Figura 106) faz limite com as unidades TCC, RFM, O/H e TSGM e ocorre com maior expressividade na vertente esquerda do Córrego São Pedro. Como esta unidade faz limite com a unidade O/H e devido as suas características de pequena espessura, baixa permeabilidade e declividade acentuada, esta unidade é importante no sentido de geração de escoamento superficial e, desse modo, na compreensão das inundações associadas aos canais da bacia.

Figura 106 – Localização da Unidade Transportado material de origem basaltos na bacia do córrego São Pedro (RFSG)



Residual argilo-siltoso resultante da alteração intempérica dos basaltos da formação Serra Geral (RFSG), observado na Figura 107, ocorre nas porções topograficamente inferiores da área estudada associado à baixa encosta e fundo de vale fluvial, em cotas inferiores a 840 metros. Normalmente exibe pequenas espessuras, não superiores a 3 metros. A partir dessa profundidade grada à saprolito passando, em seguida, à rocha em vias de alteração (Figura 108), até atingir a condição de rocha sã. A

faixa saprolítica subjacente e de rocha em via de alteração intempérica apresenta espessuras variáveis entre 2 e 5 metros.

Figura 107 – Residual argilo – siltoso da unidade RFSG produto decomposição intempérica de basaltos da Formação Serra Geral presente na área da bacia.



Figura 108 – Rocha em alteração encontrada na amostra do ponto 30.



De uma maneira geral o contato entre a unidade RFM e RFSG ocorre mediante uma forte quebra no relevo facilmente visualizada nas encostas do vale do Córrego São Pedro. As declividades predominantes na área de ocorrência da unidade RFSG varia entre 2 e 20%. A Figura 109 apresenta a curva granulométrica para as amostras destas unidades, revelando uma uniformidade entre as amostras.

A granulometria apresentada na Tabela 12 para as amostras desta unidade evidenciou que a argila e silte são as frações predominantes que, juntas, perfazem aproximadamente 50%.

Ao analisar a média das frações granulométricas das amostras da unidade para caracterizar a unidade, obteve-se 30,7 % de fração argila, 27,2 % de silte, 18,6 de areia fina, 12,8% de areia média, 2,2% de areia grossa e 8,4% de pedregulho. Entretanto, as

amostras 30 e 34 apresentaram fragmentos de basalto em vias de intemperização. Estas amostras comprovam que, quando fragmentos basalto ainda são encontrados nas amostras, estes determinam uma granulometria característica, com elevada porcentagem de fração pedregulho. Ressalta-se que a localização destes dois pontos está próxima e em condição topográfica semelhante, o que justifica a semelhança na fração pedregulho.

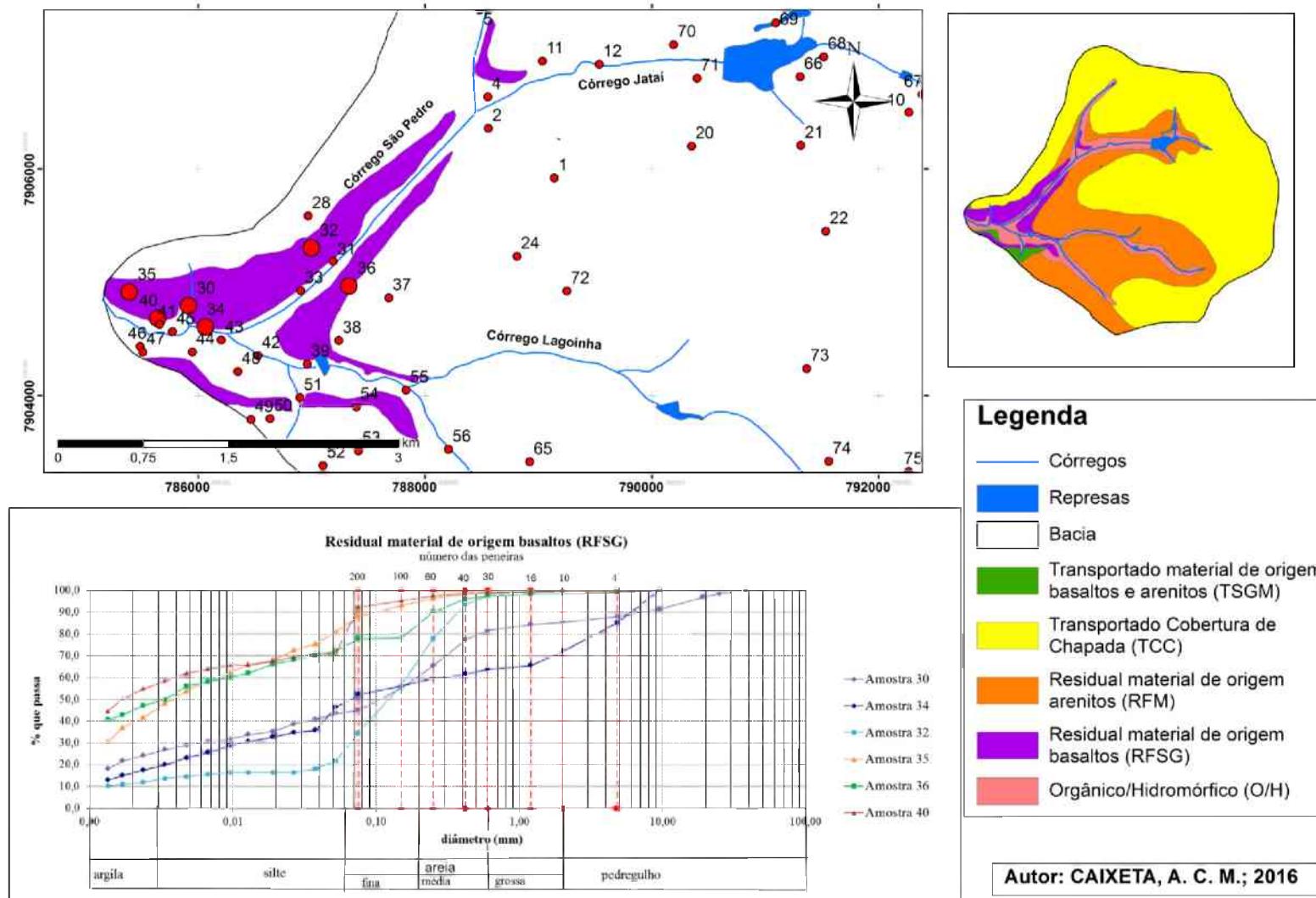
Tabela 12 – Resultados das análises granulométricas obtidas em ensaios de granulometria das amostras da Unidade Transportado material de origem basaltos (RFSG)

<b>Amostra</b>	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia</b>			<b>Pedregulho</b>
			<b>Fina</b>	<b>Média</b>	<b>Grossa</b>	
<b>30</b>	23,0	21,0	16,5	21,1	3,7	14,7
<b>32</b>	11,5	15,5	41,0	28,5	2,5	0,0
<b>34</b>	13,0	27,0	15,0	6,6	3,9	34,5
<b>35</b>	39,5	43,5	12,0	3,9	1,1	0,0
<b>36</b>	45,0	28,0	11,0	13,4	1,2	1,4
<b>40</b>	52,0	28,0	16,0	3,3	0,7	0,0
<b>Média</b>	30,7	27,2	18,6	12,8	2,2	8,4

Ao analisar as amostras 32 e 35 percebe-se que, no sentido de cotas altimétricas menores aumenta-se o teor de argila e diminui-se o de areia fina. A amostra 36 está na vertente direta do Córrego São Pedro e possui um relevo com um decaimento suave na baixa encosta próximo ao fundo de vale. Este relevo suave contribui para a significativa presença da argila, com 45% desta fração granulométrica.

Observa-se, na Figura 109, a distribuição dos locais onde as amostras foram obtidas. Percebe-se que, ao norte da Bacia do Córrego São Pedro não se obteve amostras desta unidade, por causa da densa urbanização.

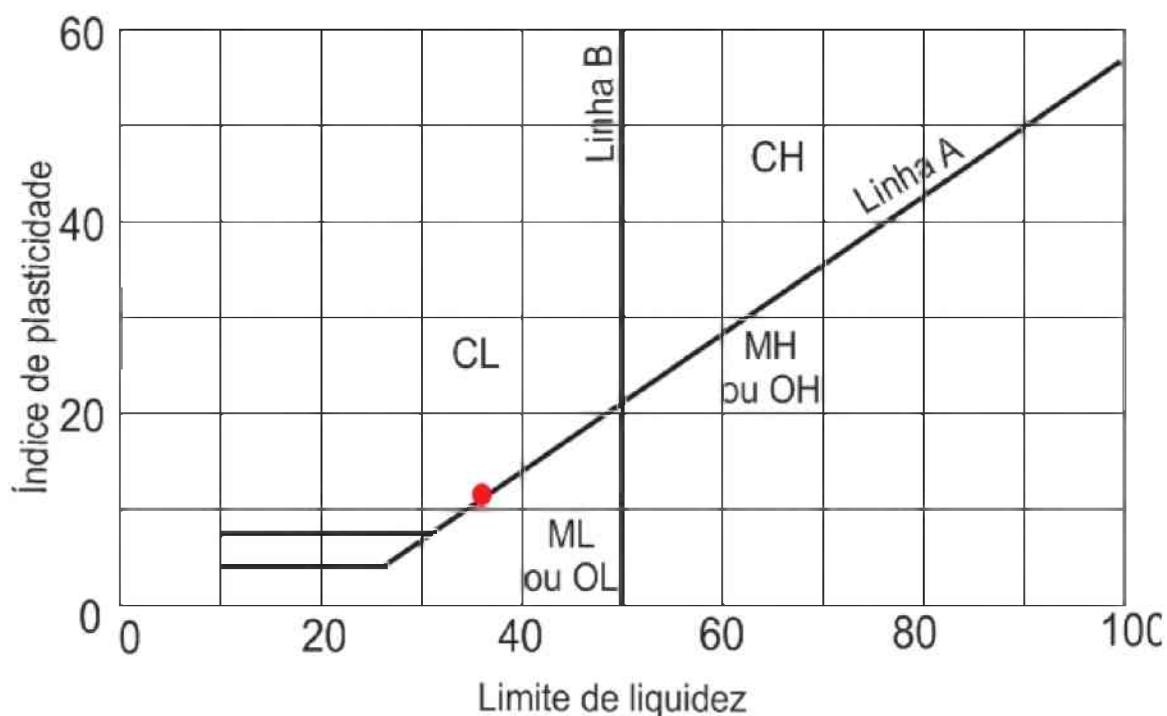
Figura 109 – Distribuição dos pontos de coleta das amostras da unidade “Transportado material de origem basaltos (RFSG)”



Nesta unidade os valores de granulometria apresentados são superiores a 12% das partículas de grãos finos (menor que a peneira 200). Com isso, a classificação é feita utilizando a carta de plasticidade de Casagrande (Figura 110).

Em relação ao Índice de Plasticidade, as amostras são homogêneas com um valor médio de 11,2%. Este é obtido pela diferença entre o Limite de liquidez (LL), que na média foi de 37,7% e o Limite de Plasticidade, que na média foi de 26,5%.

Figura 110 – Carta de Plasticidade



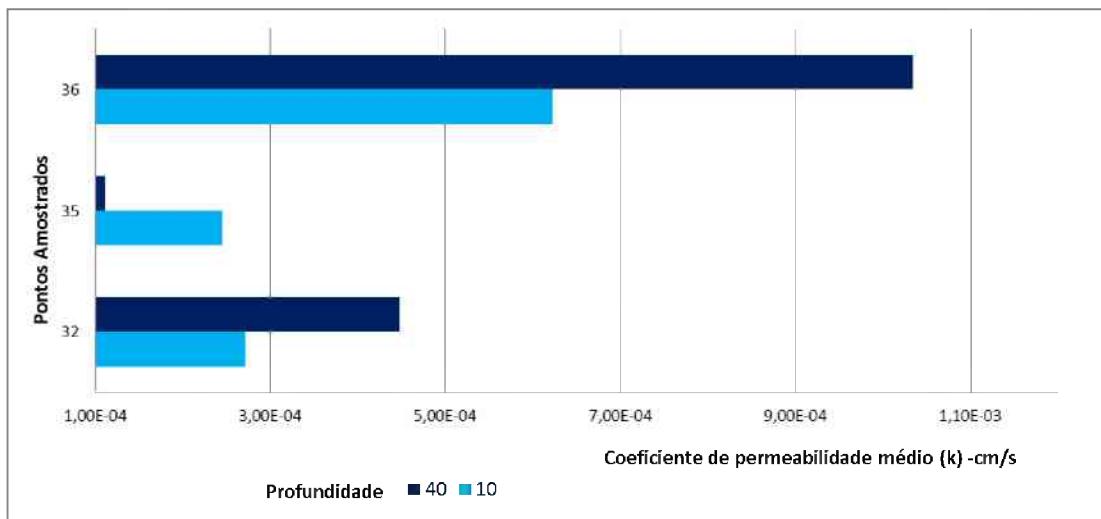
Fonte: PINTO, 2006, p. 68

O valor médio de IP calculado para esta unidade é 11,2% (solo de média plasticidade). O valor médio de LL é 37,7%, o que caracteriza solo de baixa compressibilidade (L). Os pares de valores de IP e LL definem a sua localização na carta de plasticidade de Casagrande sobre a “Linha A”. Desse modo considera-se que esta unidade pode ser classificada com um solo CL-ML, ou seja, solo argiloso de baixa compressibilidade ou solo siltoso de baixa compressibilidade.

Os valores dos coeficientes de permeabilidade ( $k$ ) na unidade RFSG para a profundidade de 10 cm variaram de  $2,45 \times 10^{-4}$  cm/s a  $6,22 \times 10^{-4}$  cm/s, enquanto que para

a profundidade de 40 cm variaram de  $1,12 \times 10^{-4}$  cm/s a  $1,03 \times 10^{-3}$  cm/s. Nota-se que ocorreu uma ampla variação de  $k$ , desde valores elevados da ordem de grandeza de  $10^{-4}$  cm/s compatível com solos argilosos. A Figura 111 apresenta o gráfico com os valores de permeabilidade para as amostras desta unidade.

Figura 111 – Gráfico com os valores do coeficiente de permeabilidade



Os Pontos 36 e 32 estão localizados no centro da unidade, o que reduz o efeito da transição próximo do contato entre unidades vizinhas. O ponto 36 está localizado na vertente esquerda do córrego São Pedro, em condição de declividade mais suave em relação aos outros 2 pontos. Já o ponto 32 está localizado na vertente direita com um relevo mais abrupto, que favorece o escoamento superficial. Note-se que ambos os pontos possuem uma permeabilidade maior para a profundidade de 40 cm.

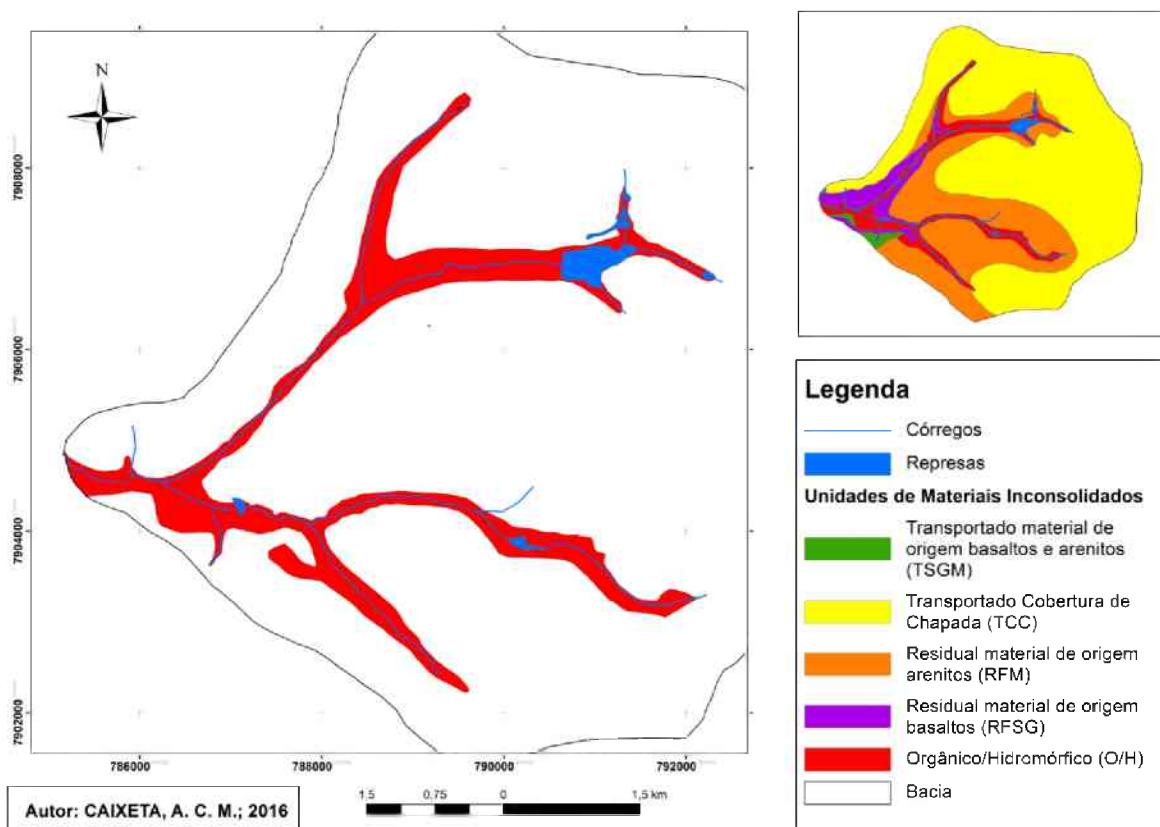
Entretanto, percebe-se que no ponto 35 o valor de  $k$  foi maior na profundidade de 40 cm do que na profundidade de 10 cm, quando era esperado o contrário. Essa inversão nos valores de  $k$  pode ser atribuída a algumas causas possíveis: maior atividade biológica em nível superficial (maior concentração de raízes vegetais e de animais escavadores).

#### e) Orgânica e/ou hidromórfica (O/H)

A unidade O/H (Figura 112) faz limite com todas as unidades e está associada aos canais fluviais. Estes canais, com chuvas intensas, sofrem o extravasamento atingindo as áreas inundáveis. A Figura 112 apresenta a localização desta unidade

integrada a outras unidades. Observa-se que estes limites foram definidos principalmente tanto pelas cotas altimétricas quanto pelas características de baixa reflectância da radiação solar em razão da umidade do solo e presença de matéria orgânica.

Figura 112 – Localização da Unidade Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)



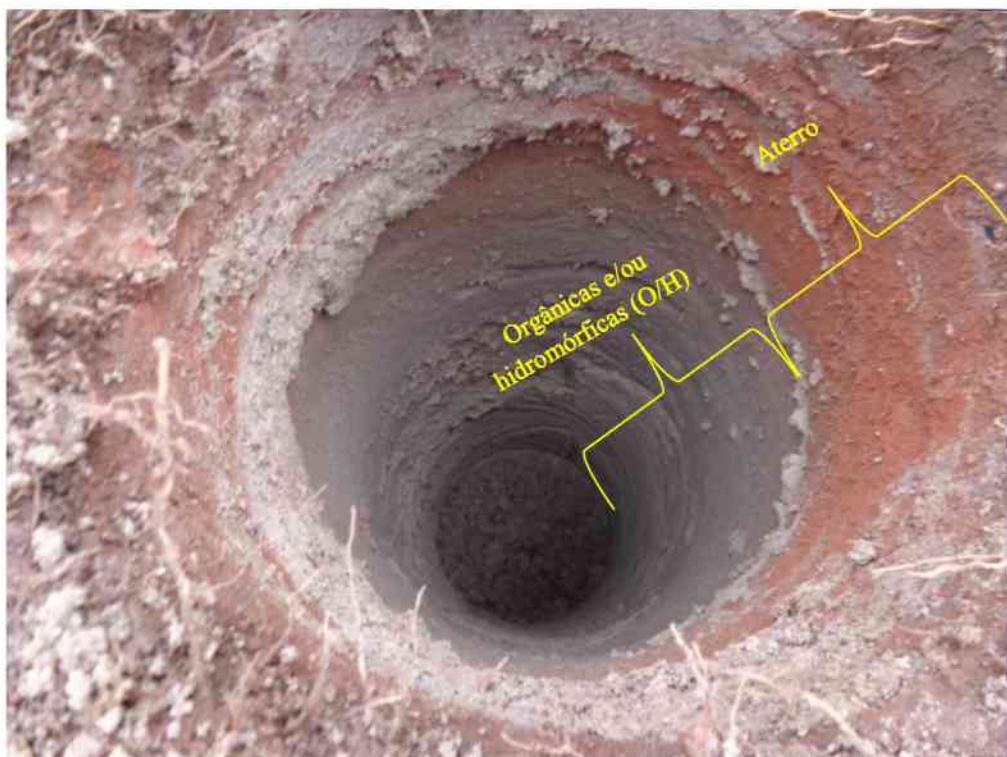
Já o processo de formação desta unidade pode ser compreendido incialmente pela sua localização no fundo de vale, por um substrato rochoso basáltico pouco profundo que condiciona a retenção e exposição do lençol freático em grande parte do ano e desenvolvimento de vegetação higrófila em ambiente pouco oxigenado. Esta situação favorece o processo de hidromorfia e/ou acumulação de matéria orgânica. Materiais inconsolidados desenvolvidos sob tais condições foram caracterizados no presente estudo como coberturas orgânicas e/ou hidromórficas (O/H), conforme pode ser visto na Figura 113.

Na Figura 114 verifica-se a ocorrência desses materiais ao longo da perfuração a trado, sendo que próximo à superfície o solo possui uma cor mais escura, e na parte inferior possui um tom mais cinza.

Figura 113 – Amostra de material inconsolidado com características hidromórficas presentes nas identificação do ponto onde foi coletada a amostra.



Figura 114 – Diferença de materiais inconsolidados em um furo de amostragem (ponto 58)

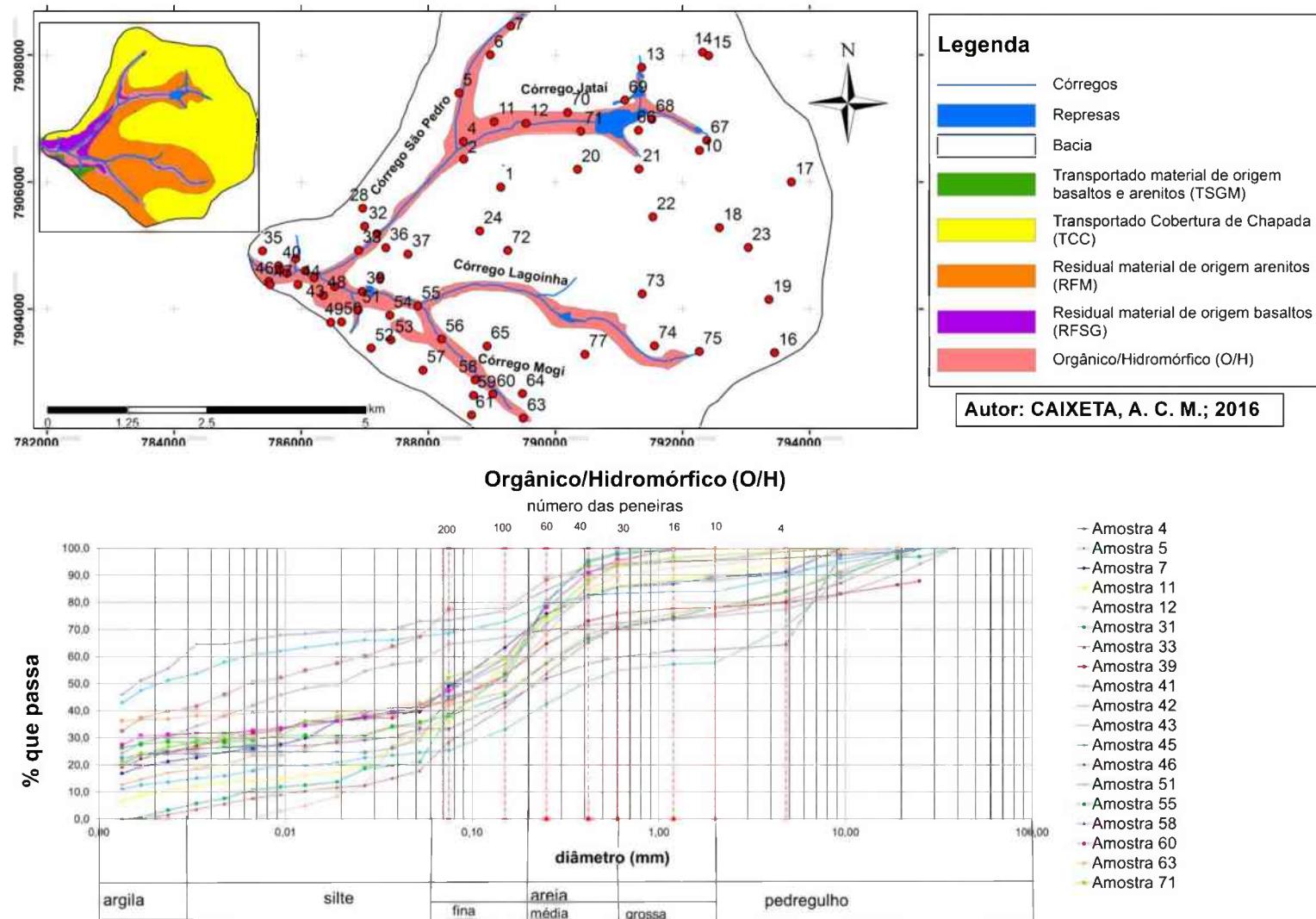


A granulometria apresentada na Tabela 13 para as amostras desta unidade mostra uma composição textural variada com a média de 25,1% de fração argila, 19,2% de silte, 20,8% de areia fina e 19,4% de areia média. A Figura 115 apresenta a curva granulométrica e a localização das amostras da unidade Orgânicas e/ou Hidromórficas, em que se verifica uma heterogeneidade entre as amostras, principalmente na fração de areia.

Tabela 13 – Composição textural das amostras da Unidade Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)

<b>Amostra</b>	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia</b>			<b>Pedregulho</b>
			<b>Finia</b>	<b>Média</b>	<b>Grossa</b>	
<b>4</b>	23,0	9,0	16,0	12,0	2,5	37,5
<b>5</b>	12,0	12,0	15,0	16,0	2,5	42,5
7	16,0	23,0	19,0	24,0	4,0	14,0
<b>11</b>	8,8	22,2	37,0	18,3	3,3	10,4
<b>12</b>	0,0	31,0	34,0	24,8	4,0	6,2
<b>31</b>	0,5	20,5	30,0	19,7	7,1	22,2
<b>33</b>	1,0	20,0	27,0	22,5	5,4	24,1
<b>39</b>	23,0	19,0	18,0	15,9	2,3	21,8
<b>41</b>	50,0	20,2	7,3	13,0	1,9	4,6
<b>42</b>	25,0	20,0	20,0	20,7	2,5	11,8
<b>43</b>	16,0	20,0	17,0	19,0	6,0	22,0
<b>45</b>	50,0	18,0	8,0	7,4	0,6	16,0
<b>46</b>	39,0	32,0	13,0	10,3	1,4	4,3
<b>48</b>	45,0	40,0	5,0	7,7	1,0	1,3
<b>51</b>	30,0	30,5	7,5	4,5	2,4	25,1
<b>55</b>	28,0	9,0	32,0	28,8	2,2	0,0
<b>56</b>	28,0	11,0	32,0	25,0	2,7	1,3
<b>58</b>	24,0	11,0	32,0	31,3	1,7	0,0
<b>60</b>	31,0	13,0	26,0	25,6	4,4	0,0
<b>63</b>	36,9	6,1	18,0	34,0	5,0	0,0
<b>70</b>	40,0	14,0	20,0	21,1	3,4	1,5
<b>71</b>	25,0	20,0	23,0	25,5	4,0	2,5
<b>Média</b>	25,1	19,2	20,8	19,4	3,2	12,2

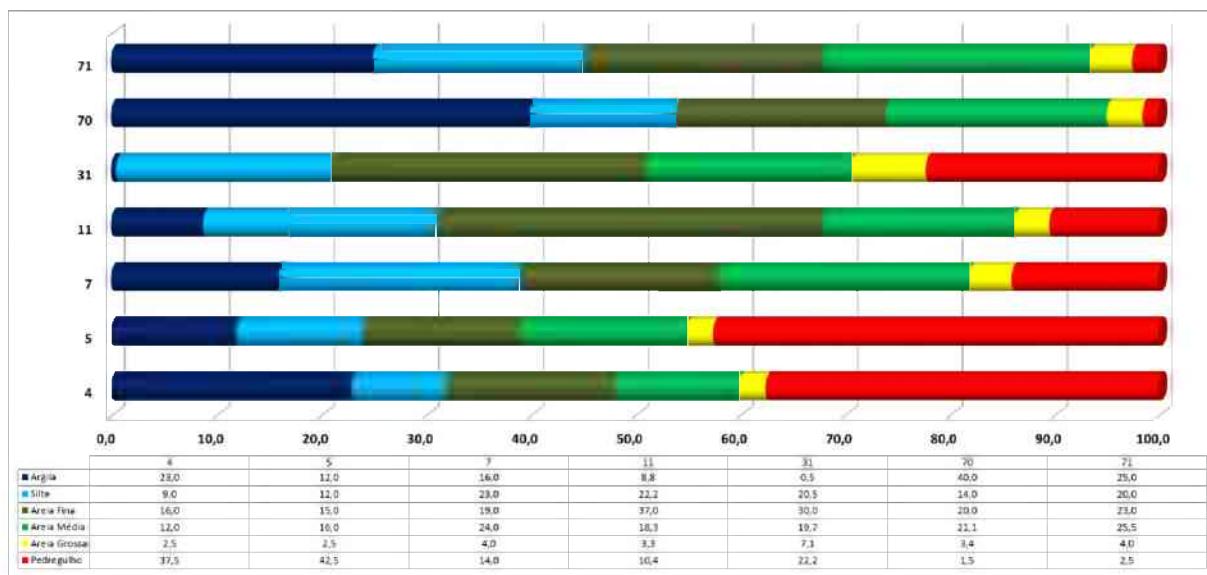
Figura 115 – Mapa com localização de pontos de coleta-de amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)”



Para facilitar a compressão desta unidade, esta foi subdivida de acordo com a localização geográfica com as amostras obtidas próximas aos córregos do norte (Córregos São Pedro e Jataí), com as amostras obtidas próximas aos córregos do sul (Córregos Lagoinha e Mogi) e com as amostras obtidas próximas à foz do Córrego São Pedro no rio Uberabinha. Ao norte situam-se os Córregos São Pedro e o Jataí, que formam o canal principal desta bacia. Já ao sul situam-se os Córregos Lagoinha e Mogi. Ressalta-se que no entorno do Córrego Lagoinha, próximo à foz do Córrego Mogi no Córrego Lagoinha, existe uma densa urbanização.

A Figura 116 apresenta um gráfico com a granulometria das amostras situadas próximo aos córregos desta unidade. Observa-se aproximadamente 18% de fração pedregulho, que é uma quantidade significativa dos grãos. Outro destaque deste gráfico é a presença homogênea da fração areia fina, com aproximadamente 25%.

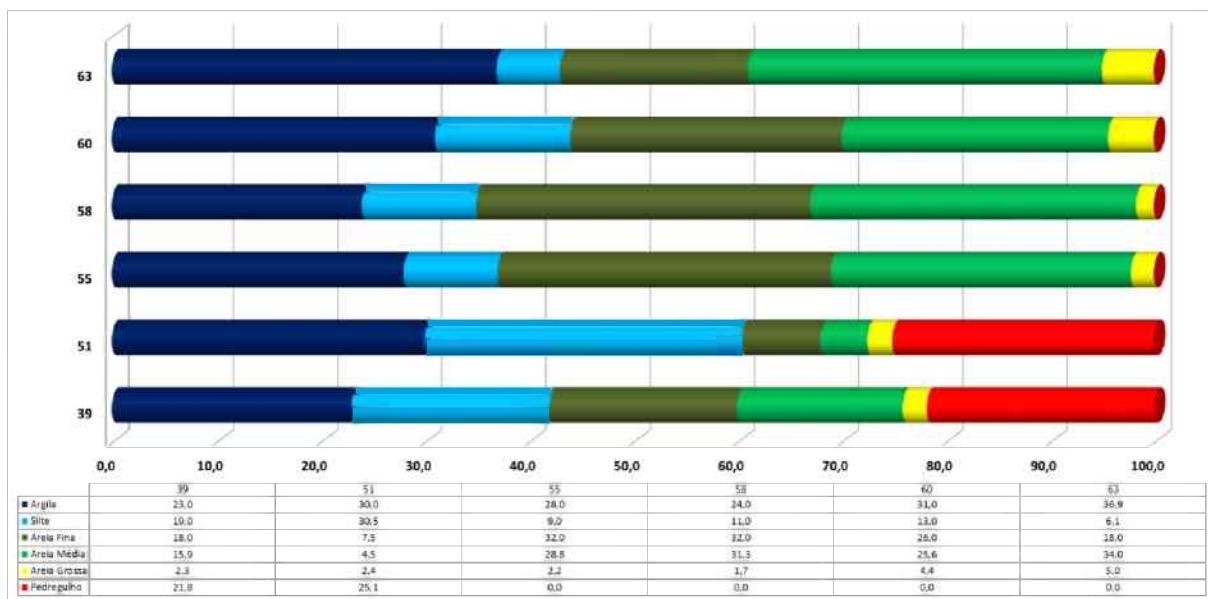
Figura 116 – Gráfico da granulometria das amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” próximas aos Córregos do Norte.



Nas amostras obtidas próximas dos Córregos Lagoinha e Mogi (Figura 117), que drenam a unidade O/H nota-se o incremento na quantidade de fração argila atingindo o valor de 30%. Já a fração areia apresentou 40% em peso. Porém, com uma significativa redução da fração pedregulhos de 7,8%.

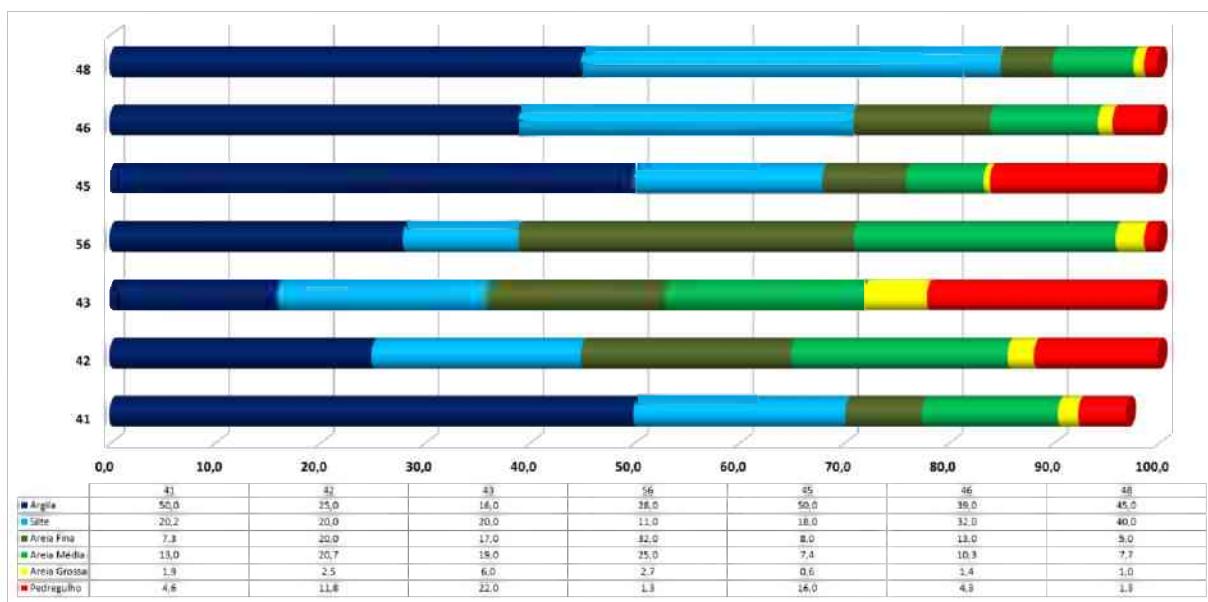
Notam-se na distribuição da fração argila das amostras, valores próximos uniformes para fração a areia fina e areia média e a heterogeneidade na distribuição da fração areia grossa e pedregulho. Ao observar a fração silte, percebe-se uma uniformidade nas amostras 55, 58 e 60.

Figura 117 – Gráfico da granulometria das amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” próximas aos Córregos Lagoinha e Mogi.



Constata-se, nas amostras obtidas próximas à foz do Córrego São Pedro com o Rio Uberabinha e no encontro dos Córregos Lagoinha no São Pedro, um significativo aumento de fração atingido o valor de 32,5%. A Figura 118 apresenta um gráfico com a disposição das amostras em a granulometria.

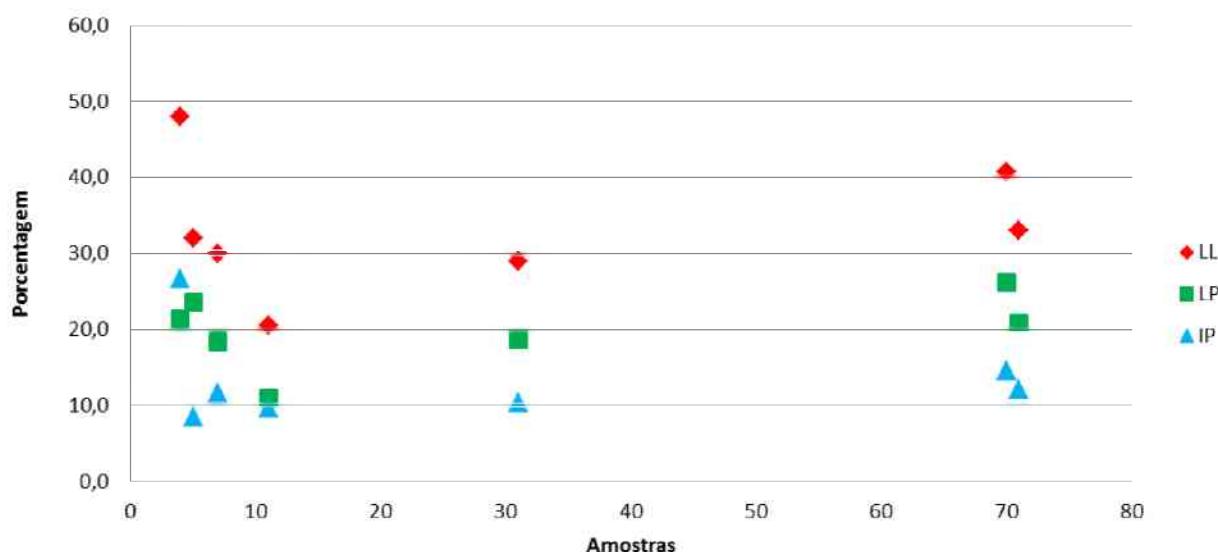
Figura 118 – Gráfico da granulometria das amostras da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)” próximas à foz do Córrego São Pedro no Rio Uberabinha



Nesta unidade os valores de granulometria Mostram que a fração fina (argila e silte) supera 12% em peso finos (menor que a peneira 200). Com isto, a classificação é feita utilizando a carta de plasticidade (Figura 120).

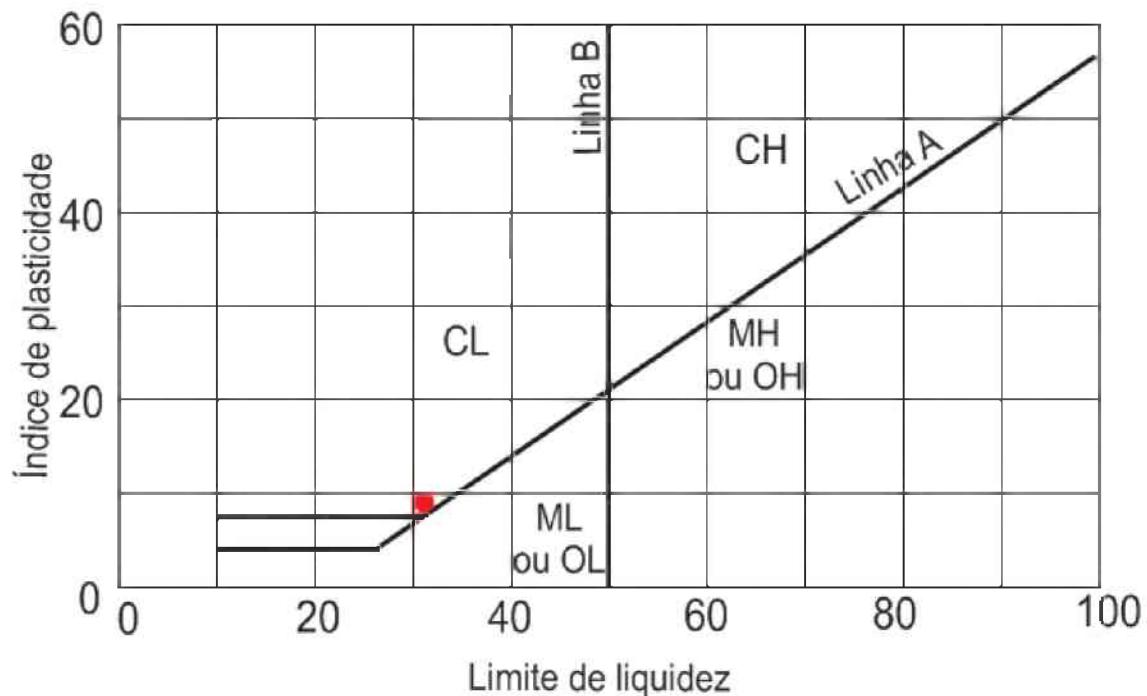
Em relação ao Índice de Plasticidade, as amostras se comportaram de maneira homogênea, mesmo com a heterogeneidade observada nas frações granulométricas. A Figura 119 apresenta o gráfico com os valores de Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade e Índice de Plasticidade da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)”.

Figura 119 – Gráfico com os valores de limite de liquidez e limite de plasticidade da unidade “Orgânicas e/ou hidromórficas (O/H)”



Observa-se o índice de plasticidade com um valor médio de 13,4%, limite de Liquidez (LL) de 33,3% e o limite de Plasticidade de 20,0%.

Figura 120 – Carta de Plasticidade



Fonte: PINTO, 2006, p. 68

Com o valor médio de IP igual a 13,4% os solos dessa unidade se situaram próximos a “Linha A” e podem ser classificadas como argiloso (C). As amostras desta unidade resultam em LL médio de 33,3%, o que permite classificá-los como solos de baixa compressibilidade (L). Como ambos os valores obtidos estão próximos das retas “A” e “B”, considera-se que esta unidade pode classificada como ML - CL.

## 6.2- Análise integral da Bacia do Córrego São Pedro

A análise integrada das características físicas da bacia buscou constatar o comportamento do solo como um componente essencial para a redução dos efeitos das águas pluviais nas inundações de fundo de vales. Ao realizar a análise granulométrica do solo percebeu-se uma porcentagem anormal da fração silte, que não deveria ser encontrada nesta proporção nos solos da bacia.

Com os estudos realizados foi possível compreender que parte da fração silte encontrada, sobretudo na unidade TCC, na realidade são aglomerados de argila que não foram desagregados mesmo com uso de defloculante hexametafosfato de sódio e agitação enérgica

em dispersor elétrico. Assim, os solos com tais características passam a apresentar um comportamento de solo siltoso.

No que refere à permeabilidade foi possível entender que a porcentagem significativa de fração silte, ainda que resulte de argila aglutinada, influencia no incremento dos valores do coeficiente de permeabilidade do solo.

Para compreender a diferença entre a classificação granulometria e o comportamento do solo em relação a permeabilidade foi abordado preliminarmente a textura em campo e a granulometria dos solos das unidades. A Tabela 14 apresenta uma síntese das unidades com a classificação do solo (granulometria).

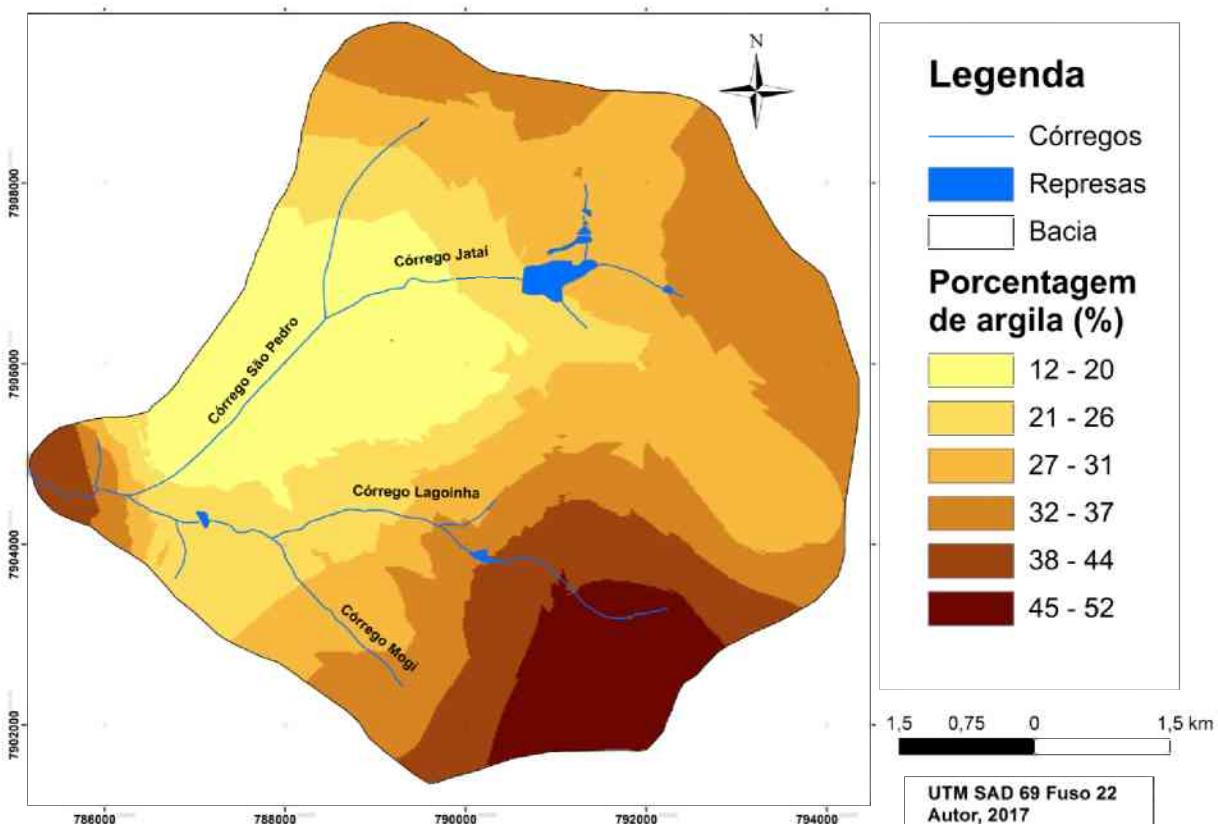
Tabela 14 – Síntese das unidades com a classificação do solo

Unidade	Compressibilidade	LL	LP	IP	IP (equação da reta)	Classificação	Permeabilidade (k) média prof. 10 cm ( cm/s)	Permeabilidade (k) média prof. 40 cm ( cm/s)
TSGM	Baixa compressibilidade (L)	42,2%	30%	12,2%	16,17%	(MC - CL)	$4,88 \times 10^{-4}$	$1,82 \times 10^{-3}$
TCC	Alta Compressibilidade (H)	48,93%	29,66%	19,27%	21,11%	ML-CL	$4,89 \times 10^{-4}$	$1,08 \times 10^{-3}$
RFM	Baixa compressibilidade (L)	30,9%	19,9%	10,9%	7,93%	CL	$1,01 \times 10^{-3}$	$1,41 \times 10^{-3}$
RFSG	Baixa compressibilidade (L)	37,7	26,5%	7,4%.	12,92%	ML – CL	$3,80 \times 10^{-4}$	$5,31 \times 10^{-4}$
O/H	Baixa compressibilidade (L)	33,3%	20,0%.	13,4%.	9,72%	ML – CL	-	-

Para determinar essa diferença que ocorre na espacialização destas concentrações utiliza-se a interpolação das porcentagens de argilas encontradas na granulometria de cada amostra. Esta interpolação foi realizada de acordo com a metodologia apresentada no capítulo anterior.

A Figura 121 apresenta a interpolação das porcentagens de argila na área da bacia do Córrego São Pedro. A partir das análises granulométricas verificou-se que os valores de argila variam entre 12 e 53%. Os locais de maior concentração estão representados com tonalidades mais escuras. Estes estão localizados principalmente próximos do divisor de águas da Bacia, na foz do Córrego São Pedro e na área de nascente do Córrego Lagoinha. Os maiores valores de concentração da fração argila estão presentes na porção de cabeceira do córrego Lagoinha.

Figura 121 – Mapa de concentração de fração argila nos materiais inconsolidados da Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.



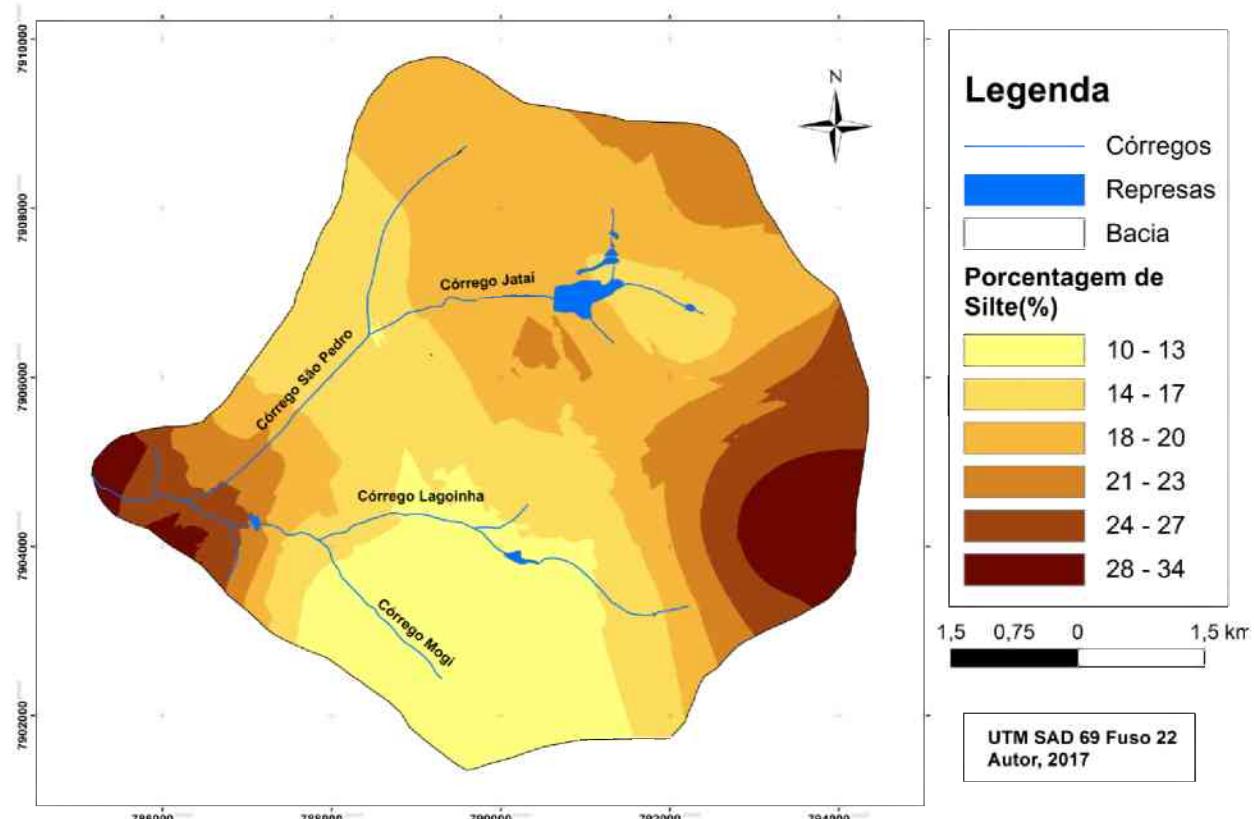
Elaborado: Autor, 2017

Com aproximadamente 8 km<sup>2</sup> (16,5% da área), a área com maior concentração de fração argila, acima de 41%, pode ser considerada como uma área menos permeável da bacia do Córrego São Pedro. Entretanto, é necessário integrar as porcentagens de argilas com os

dados de permeabilidade obtidos em campo para comprovar se estas áreas com maior concentração de argilas realmente se caracterizam como de menor permeabilidade. De posse destes dados foi possível relacionar a infiltração de água com o escoamento superficial.

Já, a concentração de silte e dos pseudo-silte pode ser visualizada a partir da Figura 122. A interpolação das porcentagens dessa fração foi efetuada tomando por base os valores obtidos nas análises granulométricas das amostras de solo da bacia, que no caso do silte variaram entre 10 e 34%. As áreas de maior concentração de fração silte localizam-se na foz com intervalo de variação de 31 a 34% e na porção leste da bacia próximo ao divisor de águas. Percebe-se ao integrar as concentrações de silte e de argila que a porção próxima a foz do Córrego São Pedro com o rio Uberabinha apresenta a maior concentração atingindo o total de aproximadamente 80% destas duas frações. A porção sul da bacia apesar de apresentar alta concentração de argila ostenta um dos menores valores de fração silte encontrados.

Figura 122 – Mapa de concentração de fração silte encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.



Elaborado: Autor, 2017

Ao analisar a concentração da fração areia (Figura 123, Figura 124 e Figura 125) percebeu-se que quanto mais próximo da foz maiores são as concentrações da fração areia fina. No centro da Bacia, ocupando uma faixa com orientação N-S, notou-se que a fração areia média ocorre em maior concentração. Por fim, as areias grossas encontram-se presentes em maior concentração na porção centro-leste da bacia.

Entretanto, é necessário evidenciar a variação percentual mínima e máxima de cada fração granulométrica. As areias finas e médias estão em um intervalo de aproximadamente 9 a 31%. As maiores concentrações estão localizadas na porção centro-oeste da bacia, inclusive na borda da bacia e próxima aos canais fluviais. E por fim, mostram pouca representatividade próximo a foz no rio Uberabinha e na porção leste junto ao divisor de águas.

A fração areia grossa apresentou uma variação média entre 2 e 5% , concentrada na porção centro-leste da bacia, estendendo-se até o divisor de águas e foz.

Após, estes dois aspectos apresentados comprehende-se que a região central da Bacia, onde se localiza os solos mais arenosos é mais propícia a infiltração. De acordo com as Figura 124 e Figura 125 nota-se que as nascentes dos Córregos Jataí, São Pedro e Lagoinha possuem aproximadamente 40% de areia (fina – média). E por fim, verifica-se um crescimento da fração areia (fina- média) de aproximadamente 50% na nascente do córrego Mogi.

Figura 123 – Mapa das porcentagens de fração Areia Fina encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.

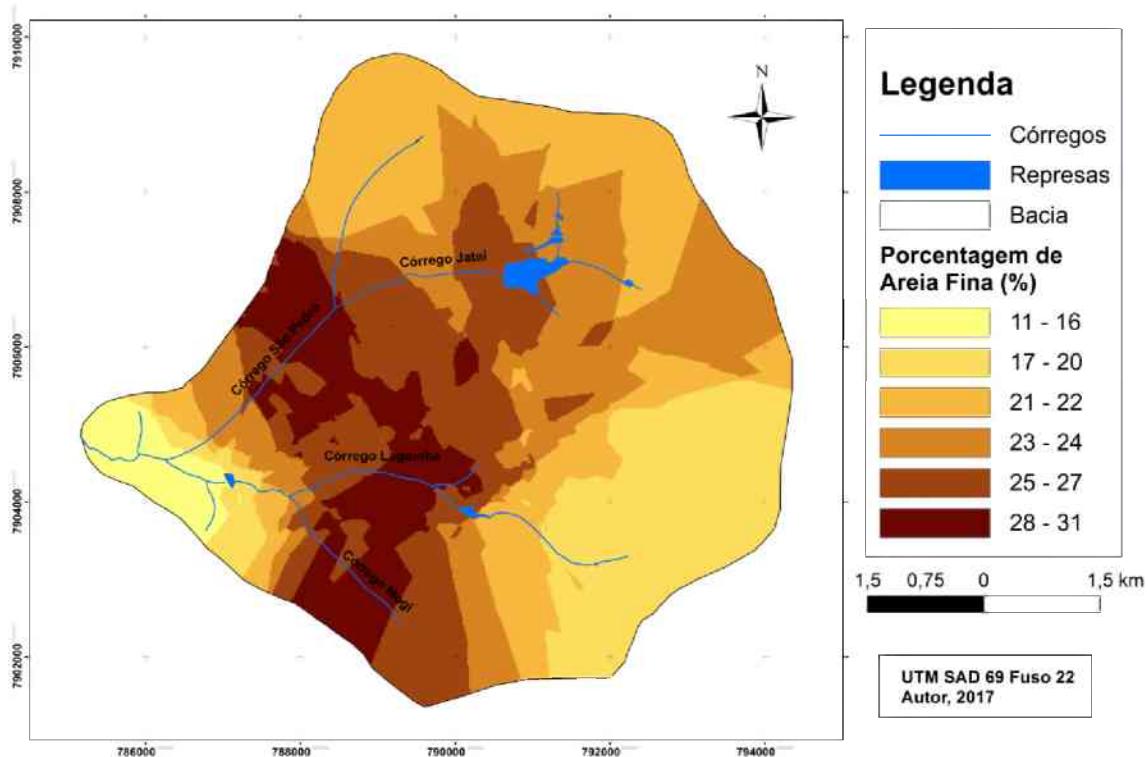


Figura 124 – Mapa das porcentagens de fração Areia Média encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia

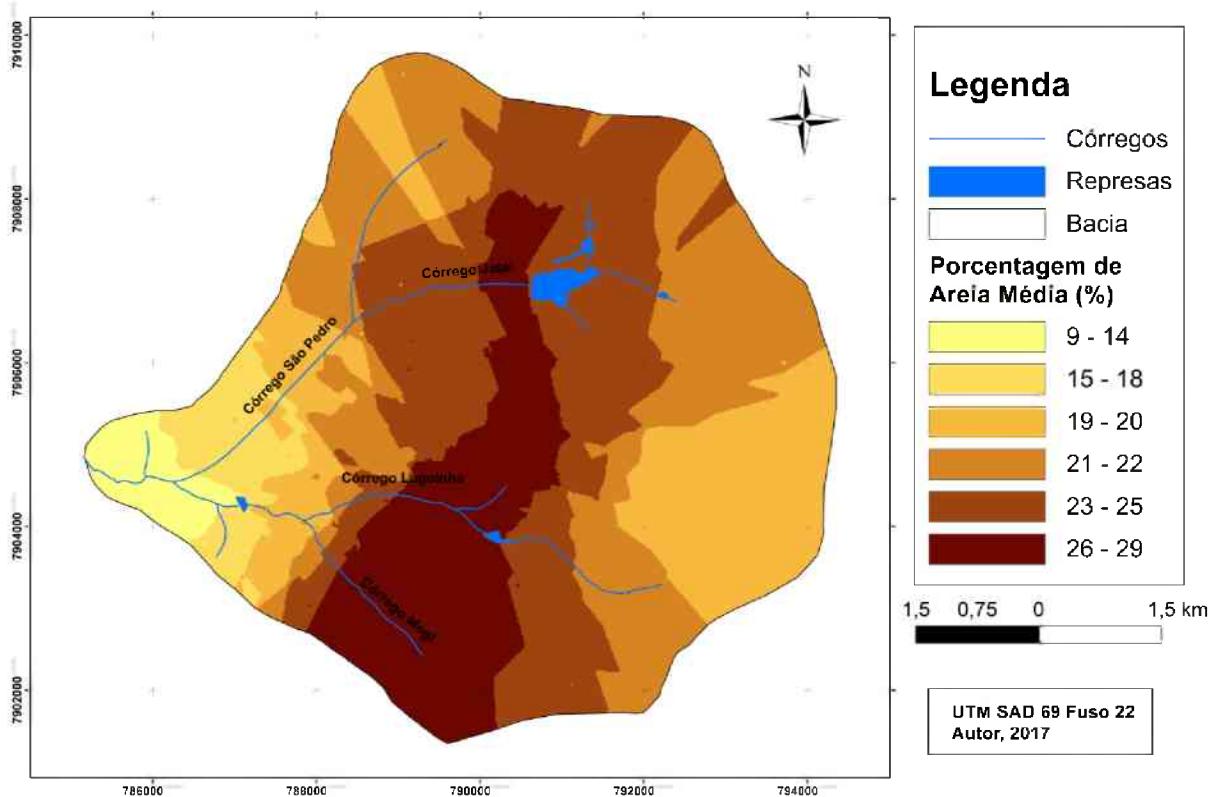
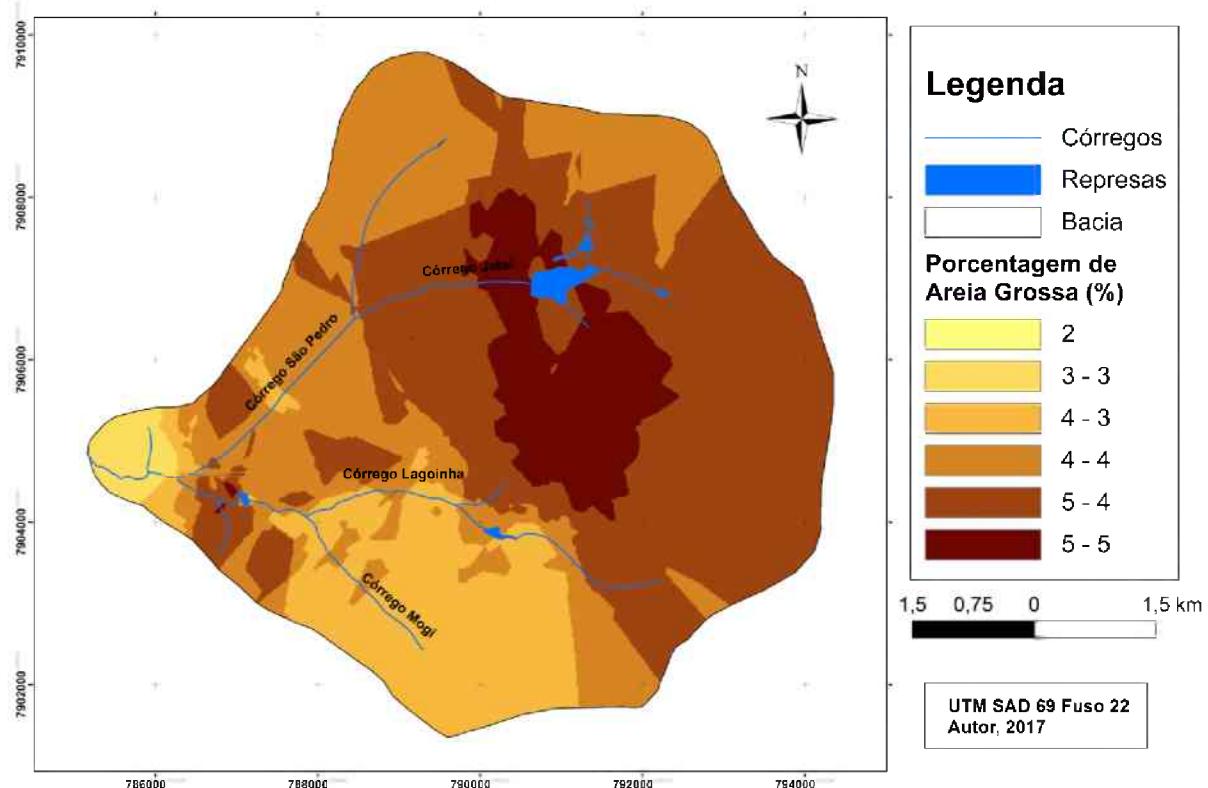
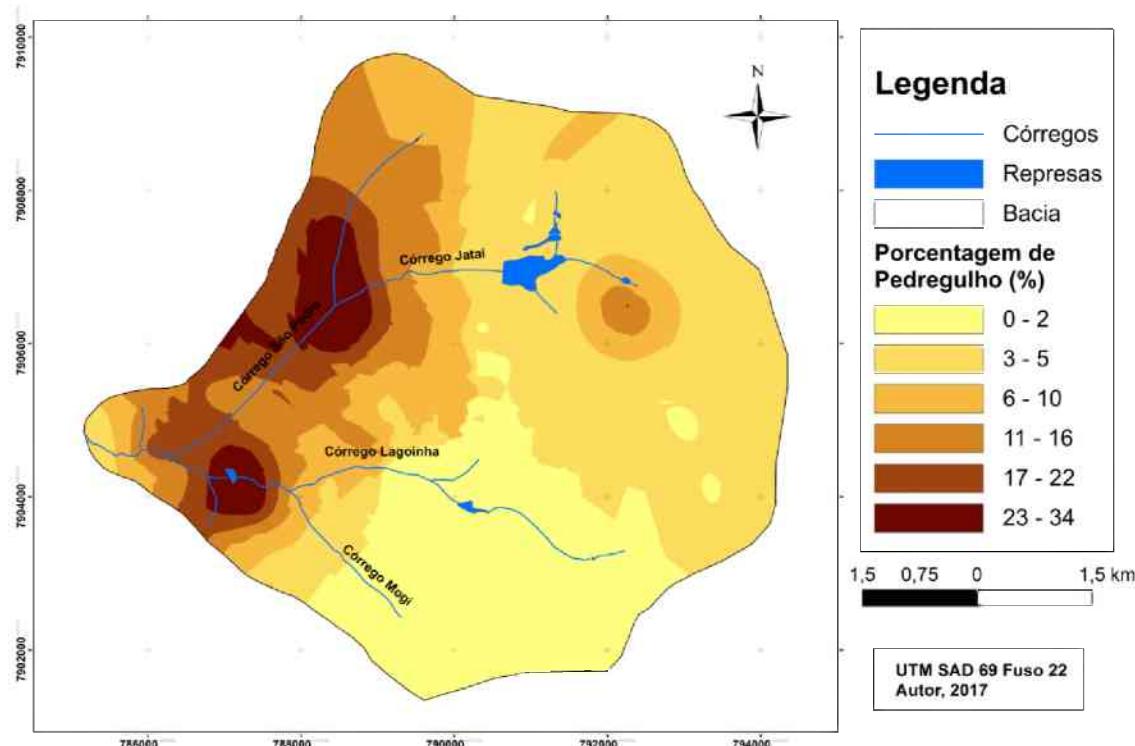


Figura 125 – Mapa das porcentagens de fração Areia Grossa encontradas nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.



A interpolação de porcentagens da fração pedregulho é apresentada na Figura 126 verificando-se uma maior concentração na porção oeste da bacia na junção dos Córregos São Pedro e Jatai. Neste local tem-se um significativo histórico de inundações. Este ponto é mais conhecido na cidade com o cruzamento da Avenida Rondon Pacheco com a Avenida Anselmo. Outro ponto de concentração desta Figura é na primeira lagoa do Córrego Lagoinha.

Figura 126 – Mapa das porcentagens de fração pedregulho encontrados nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.

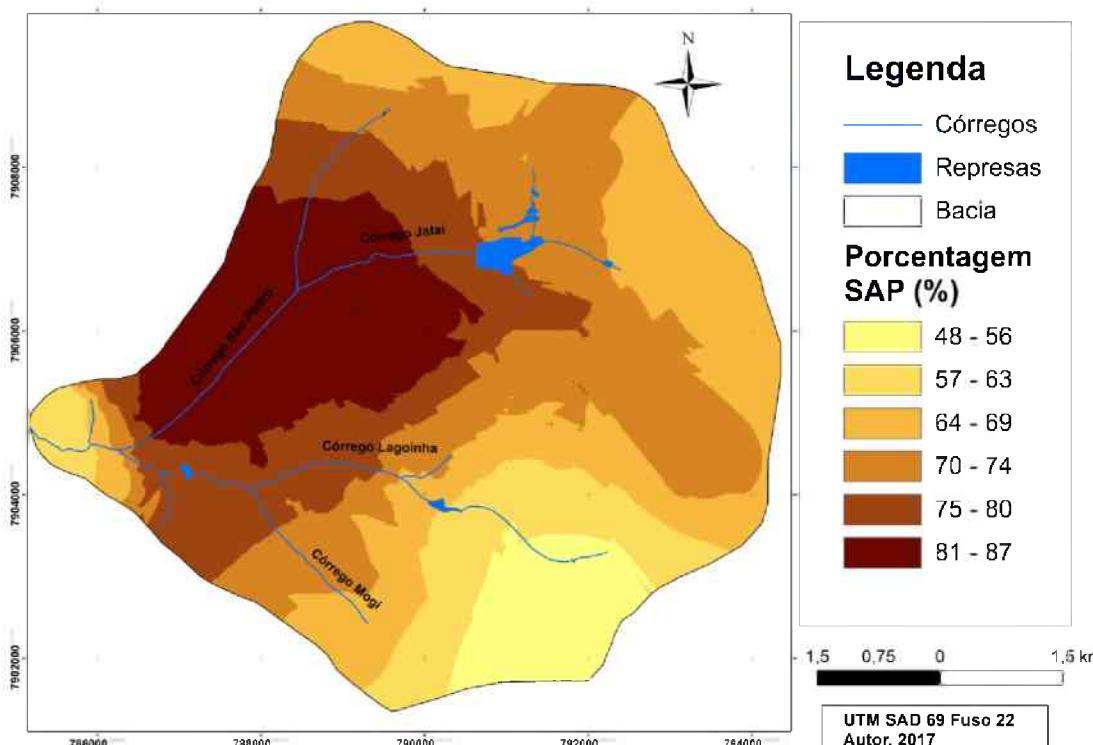


Elaborado: Autor, 2017

Sabe-se que o silte, a areia e o pedregulhos apresentam boas características para a infiltração de água, com valores crescentes da fração mais fina para a mais grossa. Por isso, neste trabalho procurou-se integrar as três frações granulométricas na análise comportamental do solo para a infiltração de água, adotando-se a designação SAP (Silte – Areia – Pedregulho) para a unidade resultante dessa integração. A Figura 127 apresenta o mapa resultante da interpolação da soma dos valores das porcentagens granulométricas das frações silte, areias e pedregulhos.

De acordo com a Figura 127 a área adjacente ao Córrego São Pedro possui cerca de 80% de SAP. Na foz do Córrego São Pedro no rio Uberabinha estes valores passam para aproximadamente 50% de SAP. Entretanto, a maioria da classificação granulometria é a fração de argila colaborando para a não infiltração, o aumento do escoamento superficial e a recarga superficial do canal.

Figura 127 – Mapa das porcentagens de SAP encontrados nos materiais inconsolidados na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia.



Elaborado: Autor, 2017

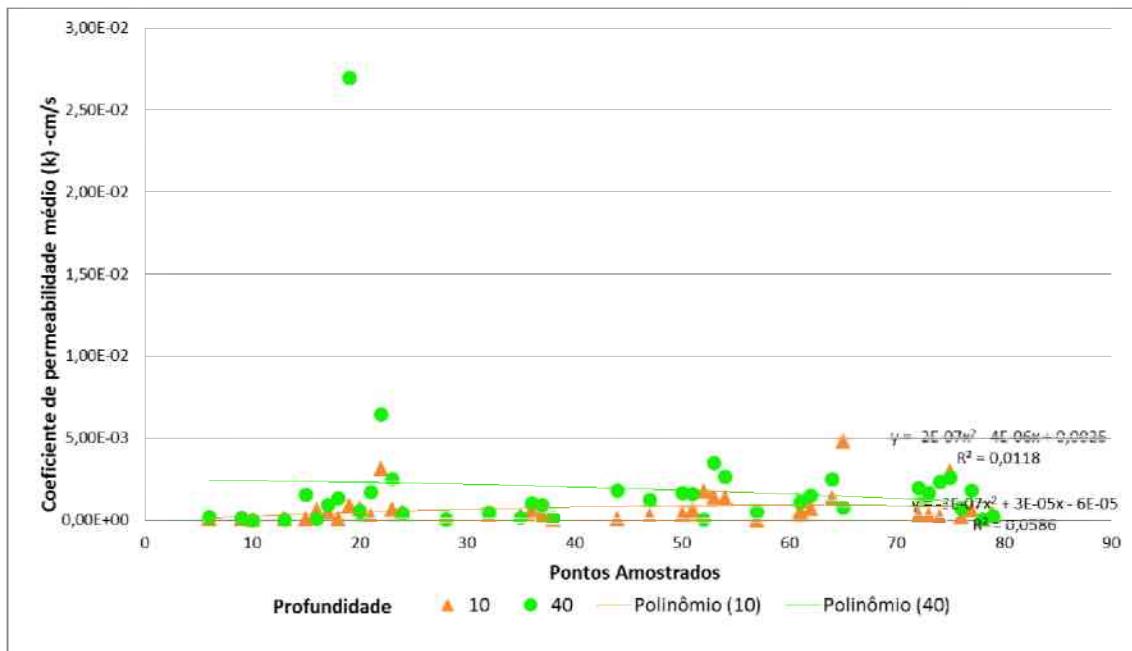
As áreas de nascentes dos Córregos São Pedro e Jataí possuem 70% de SAP. O Córrego Mogi possui 65% e por fim o Córrego Lagoinha possui 55% de SAP. Com isto, percebe que a presença de SAP é maior na centro-oeste da bacia.

Outro parâmetro fundamental para compreender a infiltração de água no solo na área de estudo é a permeabilidade. Neste estudo, como já foi mencionado na metodologia, o objetivo é de mensurar o coeficiente de permeabilidade e estabelecer uma relação com a infiltração da água da chuva no solo.

A Figura 128 apresenta a dispersão e homogeneização dos valores de coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) obtidos em campo pelo ensaio com o permeâmetro de Guelph na Bacia do Córrego São Pedro. Neste ponto do trabalho ressalta-se que para a interpolação dos dados não se utilizou os valores obtidos no ponto 19, visto que o ensaio de permeabilidade foi realizado no interior de um bolsão escavado para retenção de água pluvial.

Na mesma Figura percebe-se que o espalhamento ocorre principalmente para a profundidade de 40 cm (Figura 10) com o  $R^2 = 0,052$ . Na profundidade de 10 cm a maioria dos valores dos coeficientes continuam centrados em torno da média do coeficiente de permeabilidade igual a  $6,72 \times 10^{-4}$  cm/s, que possivelmente favorece o escoamento superficial.

Figura 128 – Gráfico com os valores de permeabilidade obtidos no ensaio de permeâmetro de Guelph para as profundidades de 10 e 40 cm, com exclusão do ponto 19.

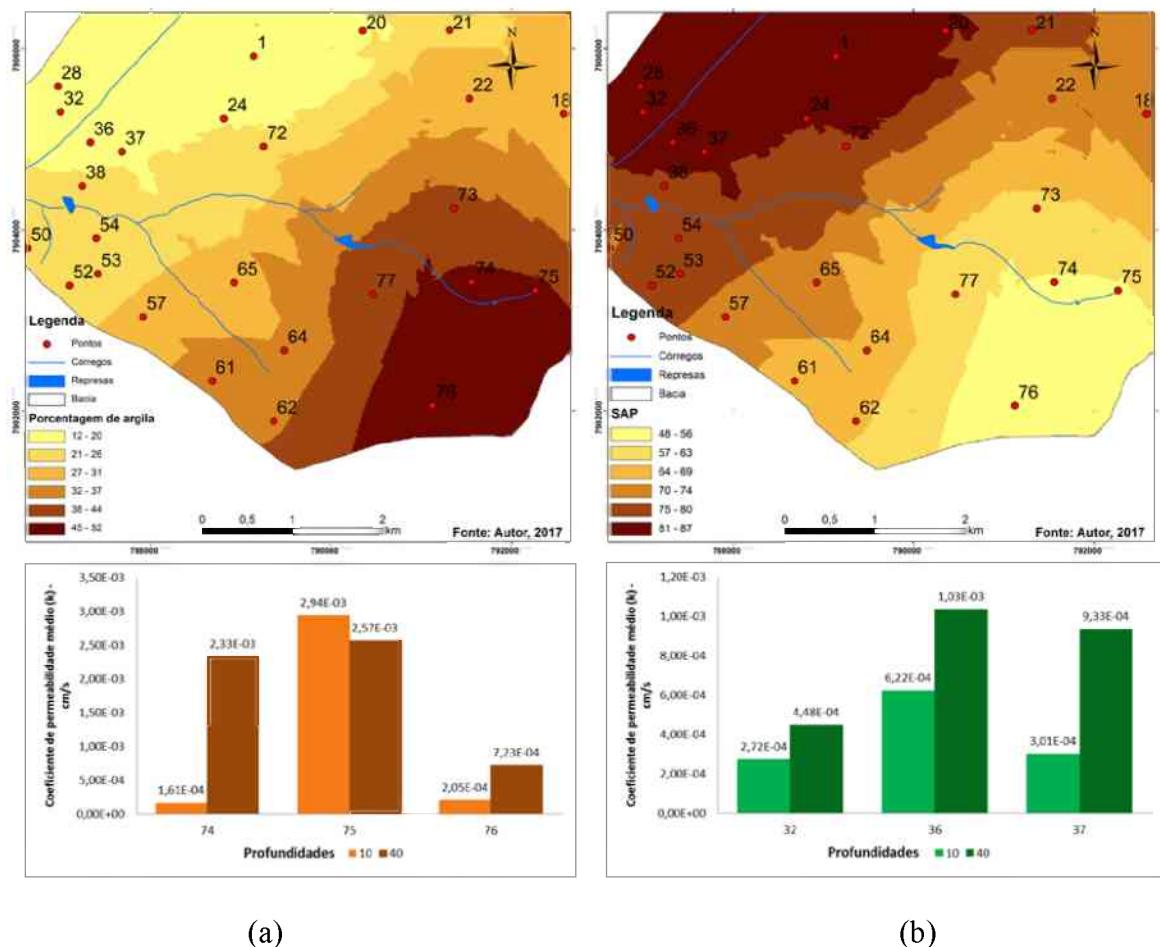


A Figura 125 apresenta o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 10 cm (Figura 132), que aparentemente os solos desta profundidade possuem uma maior dificuldade para permitir a passagem da água quando comparada com a profundidade de 40 cm. Percebe-se que, na mesma Figura, ao norte, próximo da foz e na vertente esquerda do Córrego São Pedro possui uma baixa permeabilidade atingindo valores de  $4,74 \times 10^{-6}$  cm/s. Já as altas permeabilidades podem ser encontradas entre os Córregos

Lagoinha e Mogi chegando a  $3,62 \times 10^{-3}$  cm/s. Outros dois locais de destaque, com elevados coeficientes de permeabilidade, localizam-se na nascente do Córrego Lagoinha e no centro da Bacia em direção ao divisor de águas.

O outro gráfico apresentado na Figura 125 mostra os pontos 32, 36 e 37 com os valores de permeabilidade nas profundidades de 10 e 40 cm. Nota-se que estes pontos apresentam um comportamento similar.

Figura 129 – Mapa da esquerda com a concentração de argila e o direta com a granulometria de SAP com a localização dos pontos de amostrados e, abaixo, com valores de coeficientes de permeabilidade dos pontos 74, 75, 76, 23, 26, e 37.



Autor, 2017

A permeabilidade para a profundidade de 40 cm (Figura 133) encontra-se especializada com significativos valores na região leste da bacia, próximo a nascente do Córrego Lagoinha, próximo ao divisor de água. Nas nascentes dos Córregos Lagoinha e Jataí percebe-se uma permeabilidade variando entre  $1,36 \times 10^{-3}$  cm/s e  $1,5 \times 10^{-3}$  cm/s. Por

fim a nascente do Córrego São Pedro possui a permeabilidade menor comparada com as outras nascentes.

Ao integrar os dados de permeabilidade as maiores concentrações de argila e de SAP apresentadas na Figura 5.67 percebe-se que os pontos 74, 75 e 76 estão localizados na área de maior concentração argila da Bacia. Os pontos 74 e 76 possuem baixos valores do coeficiente de permeabilidade, principalmente para a profundidade de 10 cm. Já, o ponto 75 apresentou um comportamento discrepante em relação aos outros pontos com uma maior concentração da fração argila e uma alta permeabilidade, ressalta-se que neste ponto existe uma voçoroca que foi apresentada anteriormente.

A Figura 130 e a Figura 131 apresentam furos para ensaio de permeâmetro com profundidade respectivamente de 10 e 40 cm. Observa-se, após o encerramento do ensaio de permeabilidade na profundidade de 10 com o furo ainda mantinha água no seu interior (Figura 130). Na profundidade de 40 cm, nota-se que imediatamente após o término do ensaio de permeabilidade, a água já havia se infiltrado através do fundo e parede do furo (Figura 131).

Figura 130 – Furo com presença de água profundidade de 10 cm



Autor, 2016

Figura 131 – Furo sem presença de água profundidade de 40 cm



Autor, 2016

As Figura 132 e Figura 133 apresentam a interpolação dos dados obtidos dos ensaios de permeabilidade.

Figura 132 – Interpolação pelo método Krigagem esférico dos coeficientes de permeabilidade para profundidade de 10 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG

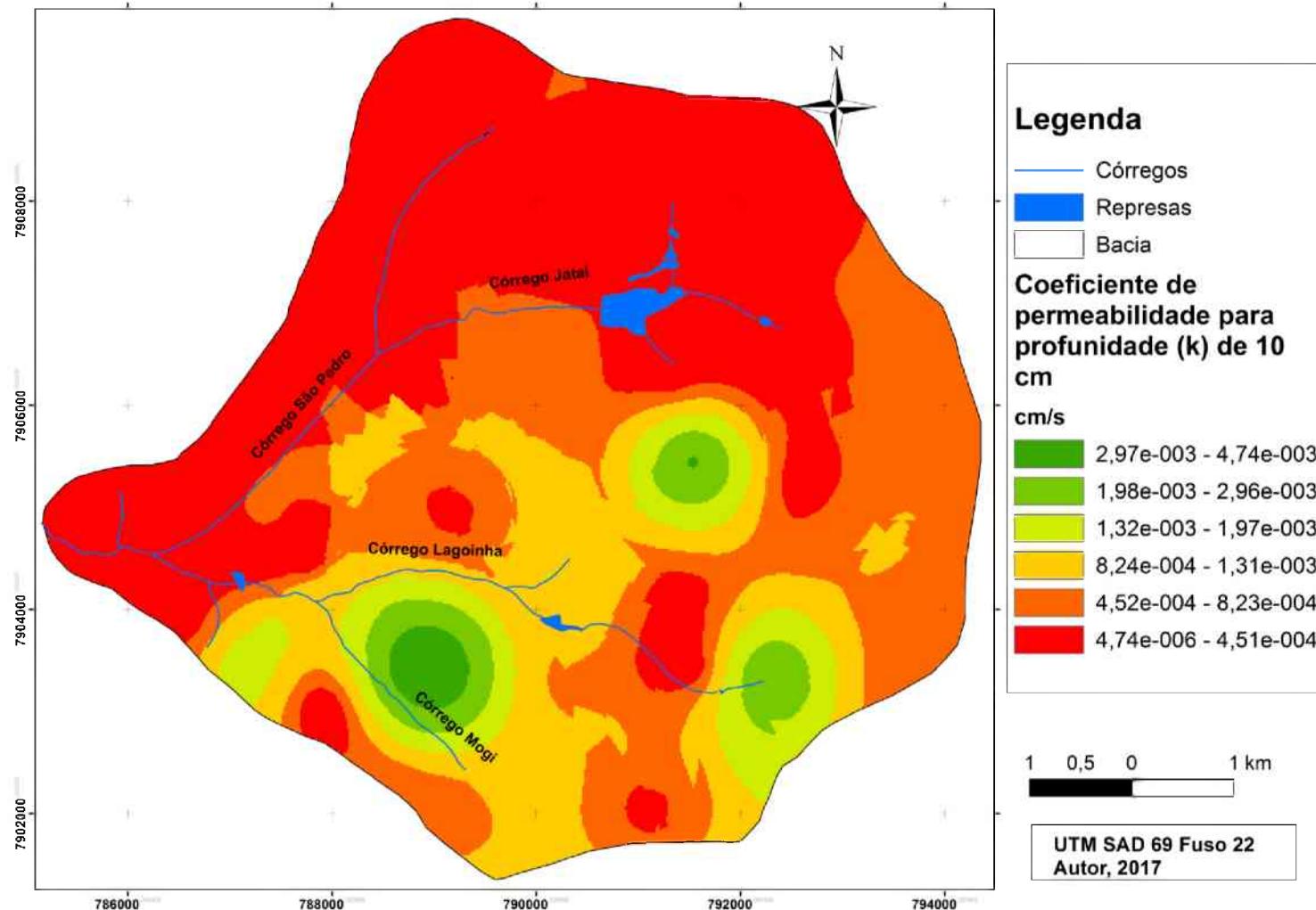
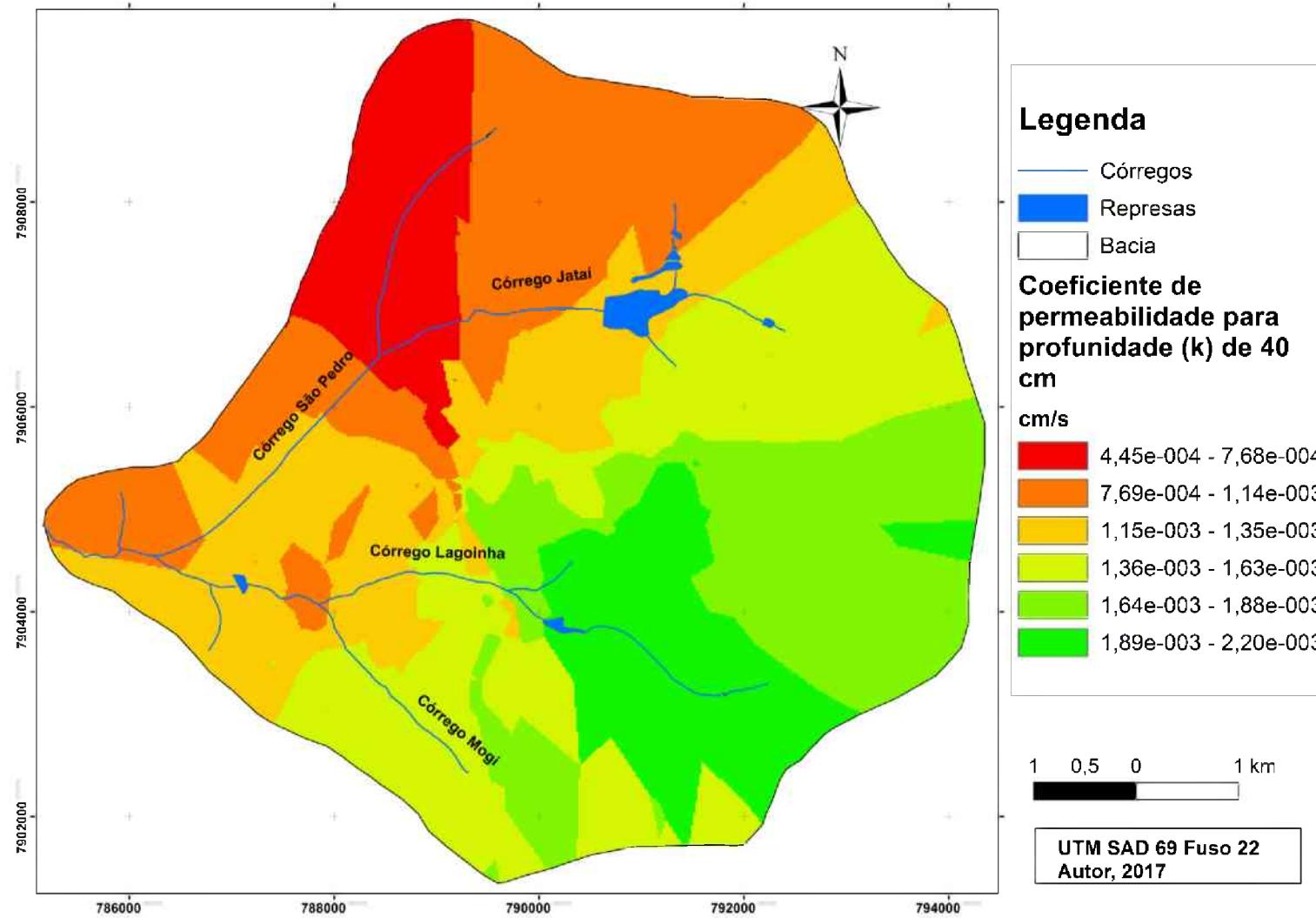


Figura 133 – Interpolação pelo método Krigagem esférico dos coeficientes de permeabilidade para profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG

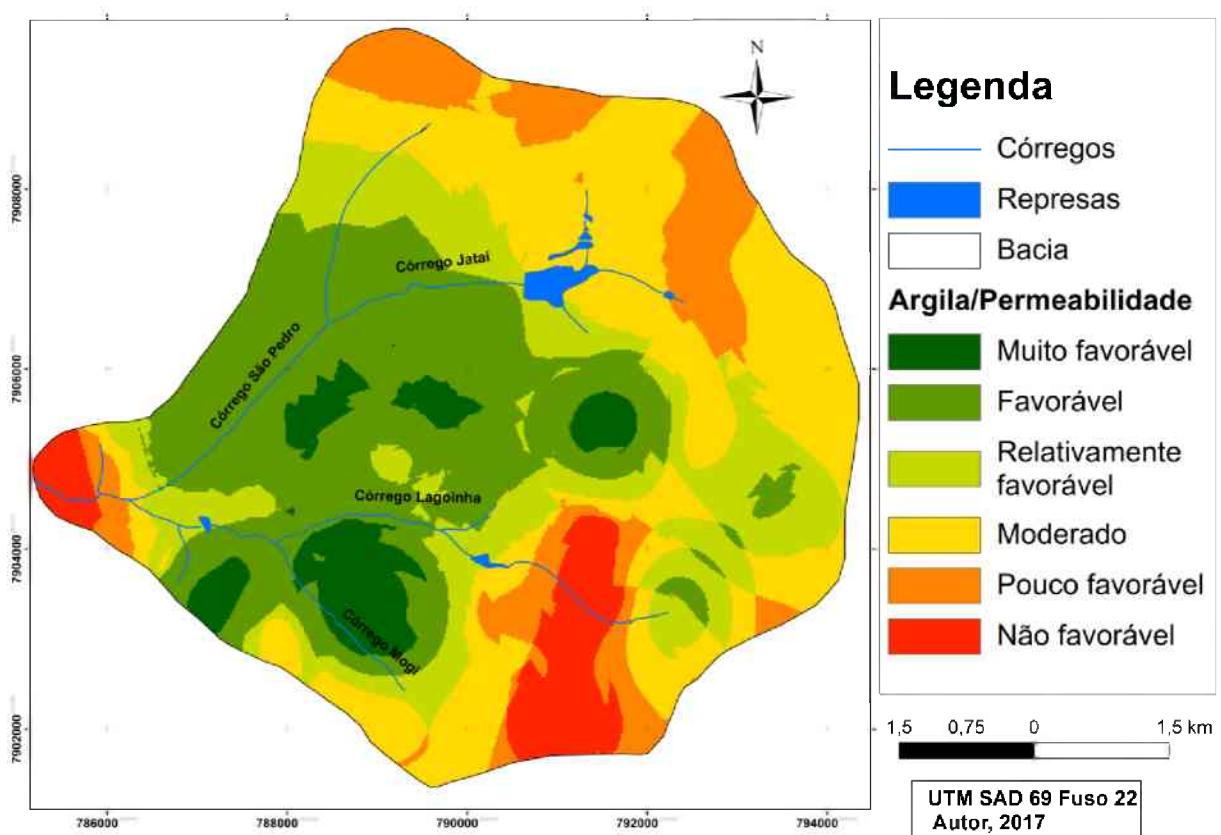


### a) Infiltração

Ao compreender os parâmetros apresentados separadamente pode-se integrá-los para compreender o processo de infiltração analisando o mapa oriundo da junção das porcentagens de argilas e a permeabilidade. Conforme já apresentado na metodologia ocorreu uma equivalência dos parâmetros para integração dos dados para uma legenda que favoreça as áreas de infiltração.

De acordo com a Figura 134 percebe-se no centro da Bacia do Córrego São Pedro a existência de uma área muito favorável e favorável à infiltração, principalmente entre os córregos Lagoinha e Mogi e Jataí e Lagoinha. Já na área próximo ao divisor de águas percebe-se que é moderada e pouco favorável a infiltração.

Figura 134 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de Fração Argila com os coeficientes de permeabilidade para a profundidade de 10 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG

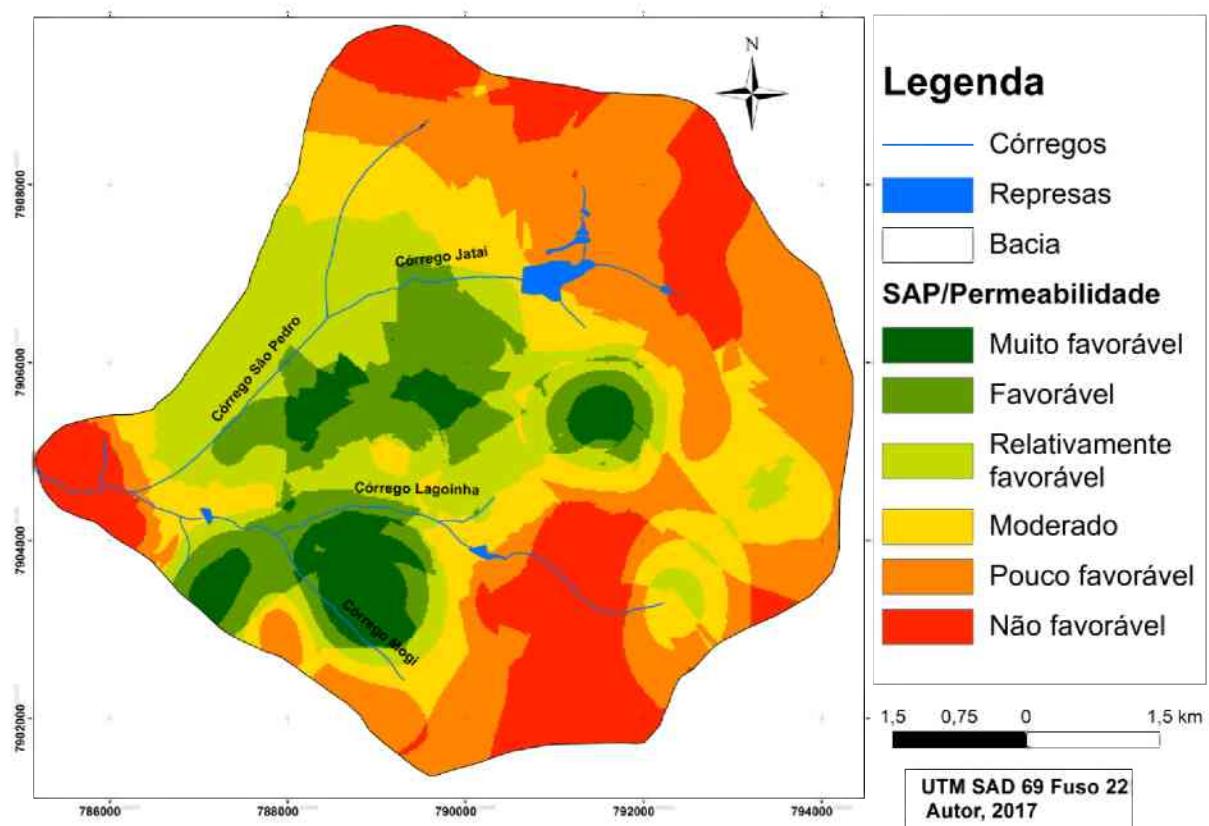


Elaborado: Autor, 2017

Observa-se que, na mesma Figura, na porção próxima da foz do córrego São Pedro junto ao rio Uberabinha obtiveram-se valores reduzidos de infiltração, em razão deste setor da bacia apresentar alta porcentagem de argila e baixa permeabilidade sendo não favorável a infiltração. Outro destaque são as bordas da bacia que possuem uma área de infiltração possivelmente razoável tendendo a valores entre baixa e média.

Ao realizar o mesmo procedimento (álgebra de mapas) para o grupo SAP ocorreu comportamento da argila, mas com o acréscimo de uma classe (Figura 135). Esta soma gerou o aumento na variação do intervalo de análise corroborando para uma variação na álgebra, com a área muito favorável a infiltração entre os Córregos Lagoinha e Mogi.

Figura 135 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de SAP com os coeficientes de permeabilidade para a profundidade de 10 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



Elaborado: Autor, 2017

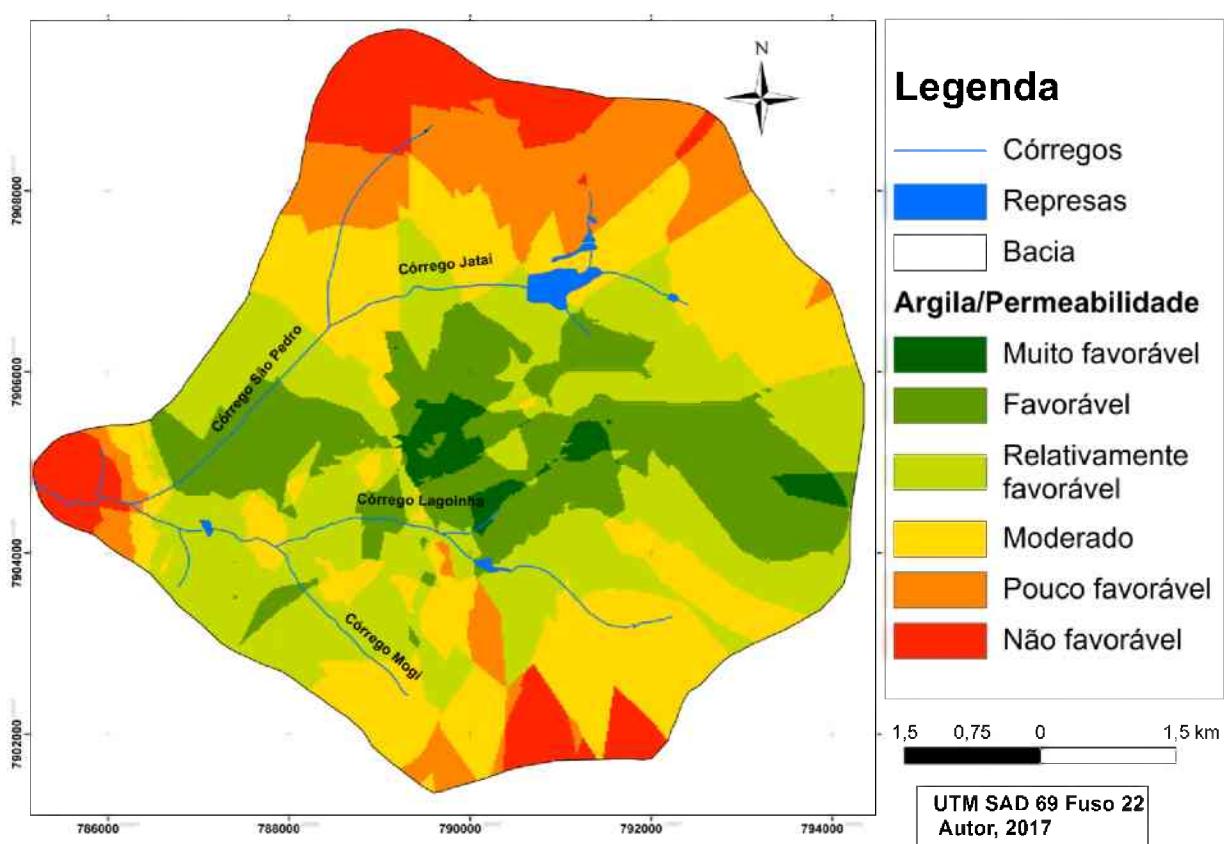
Ao comparar as Figura 134 e Figura 135 percebe-se uma semelhança já esperada devido ao comportamento dos parâmetros serem semelhante, como por exemplo, as áreas não favoráveis a infiltração próximo ao divisor de águas. Observa-se que na Figura 135 na área

adjacente ao Córrego São Pedro foi classificada como relativamente favorável, pois apresenta um grande concentração de SAP e ao comprar com a Figura 134 foi classificada como favorável por apresentar a ausência de argila.

Já, para a profundidade de 40 cm observa-se uma maior uniformidade dos dados integrados, observou-se um sentido linear na área favorável a infiltração. Outra diferença relevante observada na variação da profundidade (Figura 134 e Figura 136) é a área ao norte da bacia que passa não favorável a infiltração e próximo ao centro da bacia que passa para o favorável e relativamente favorável da infiltração.

A Figura 136 apresenta o centro da bacia com áreas mais favoráveis à infiltração das águas pluviais.. As áreas situadas ao norte, sul e na foz mostram uma significativa redução da infiltração da água, que foram representadas por áreas pouco favoráveis e moderadas.

Figura 136 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de Argilas com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG

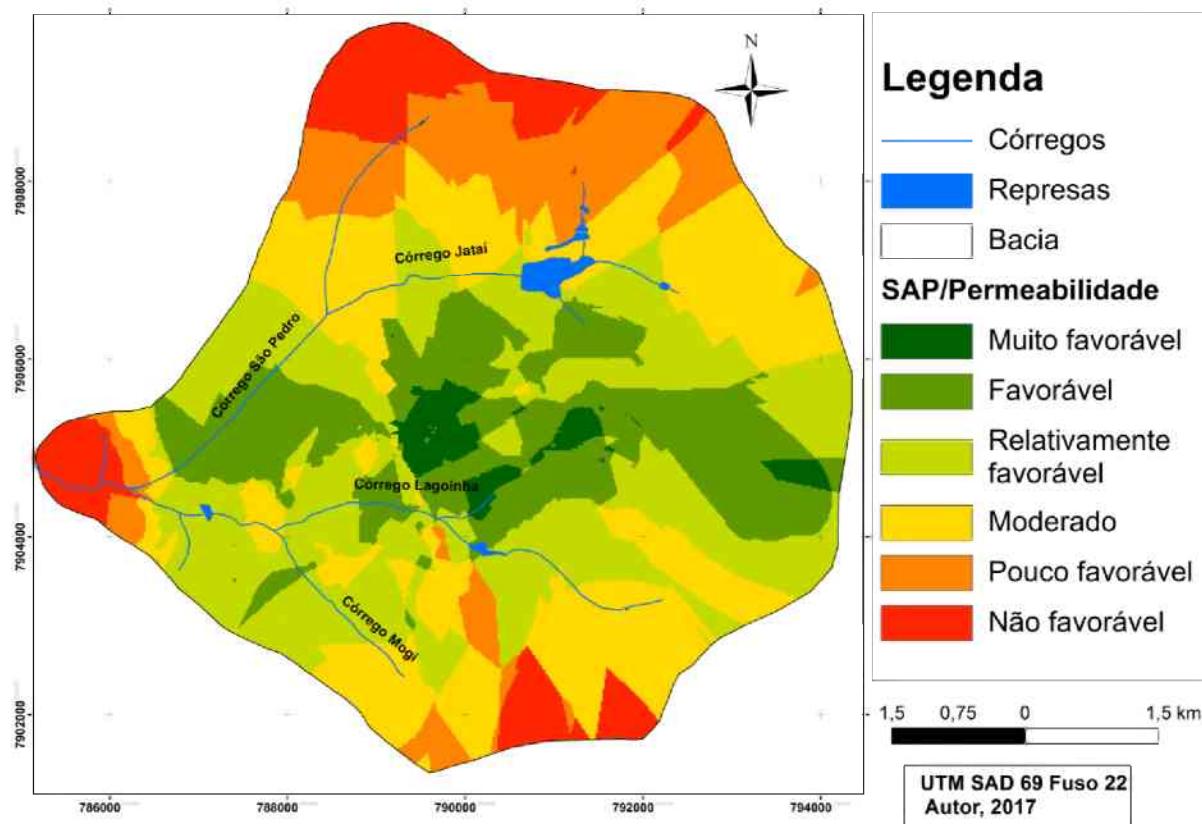


Elaborado: Autor, 2017

A Figura 137 apresenta a mesma álgebra de mapas para a classificação granulométrica SAP com os coeficientes de permeabilidade para profundidade de 40 cm. Verifica-se que a

representação das classes apresenta um comportamento similar ao da Figura 136, mas com a classe relativamente favorável mais presente. Observa-se na Figura que na região central da bacia a permeabilidade atinge os maiores valores de muito favorável e favorável a infiltração.

Figura 137 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das Porcentagens de SAP com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



Elaborado: Autor, 2017

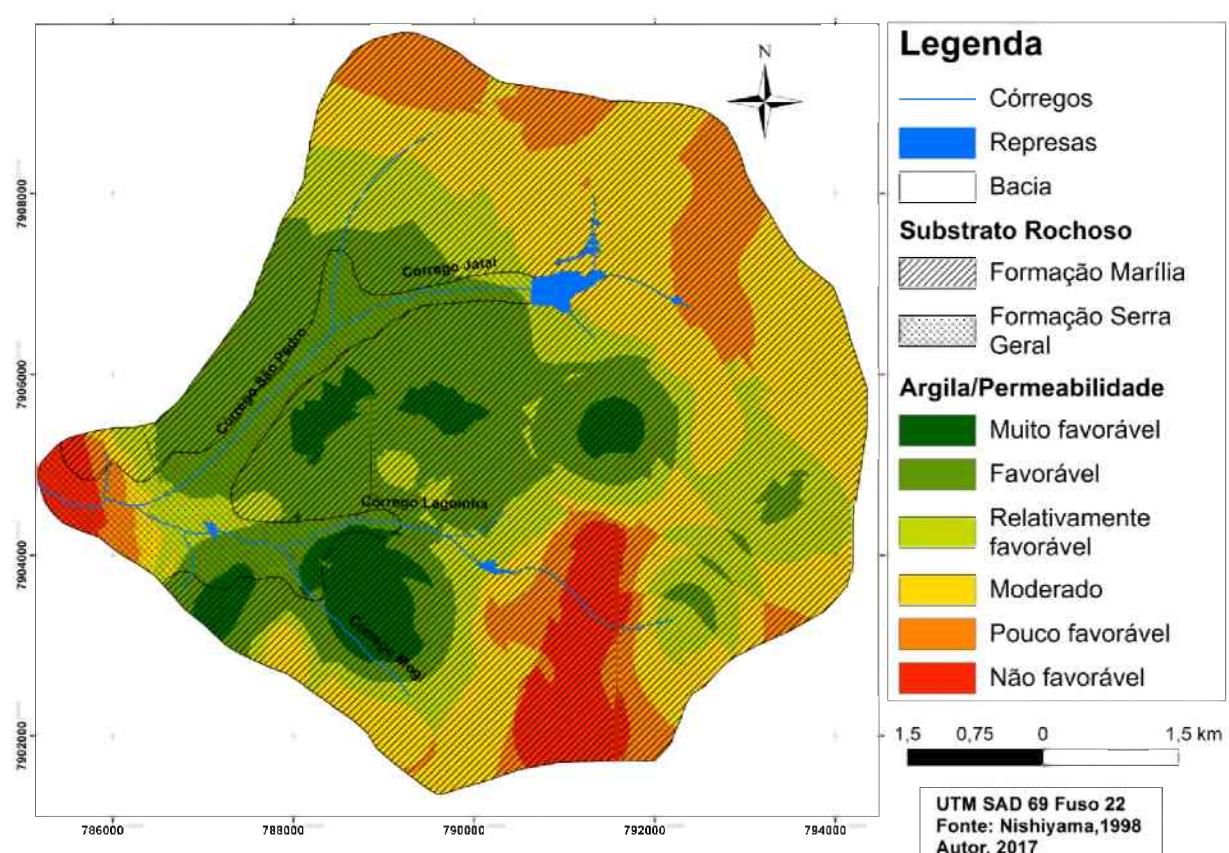
Na sequência realizou-se a integração do substrato rochoso mapeado por Nishiyama (1998) para as porcentagens de argila nas profundidades de 10 e 40 cm. Não foi utilizada as porcentagens de SAP para esta integração visto que, estes valores são inversamente proporcionais as argilas.

A Figura 138 mostra a área de exposição da Formação Serra Geral apresentando as classes 6 e 7, que favorecem a infiltração. Mas esta formação é caracterizada por Nishiyama (1998) como basaltos com estrutura maciça, vesículo – amigloidal (base e topo de derrames) e intensamente diaclasado que pode dificultar a infiltração em alguns locais.

Nas áreas de cabeceira e no centro da bacia o substrato rochoso corresponde de acordo com Nishiyama (1998) a Formação Marília. Esta é representada pelos por arenitos imaturos,

arenitos conglomeráticos e conglomerados. Percebe-se que ao realizar as integrações dos percentuais para a profundidade de 10 cm resultaram em áreas não favoráveis a uma significativa infiltração da água. Destaca-se a região central da bacia classificada como muito favorável e favorável a infiltração.

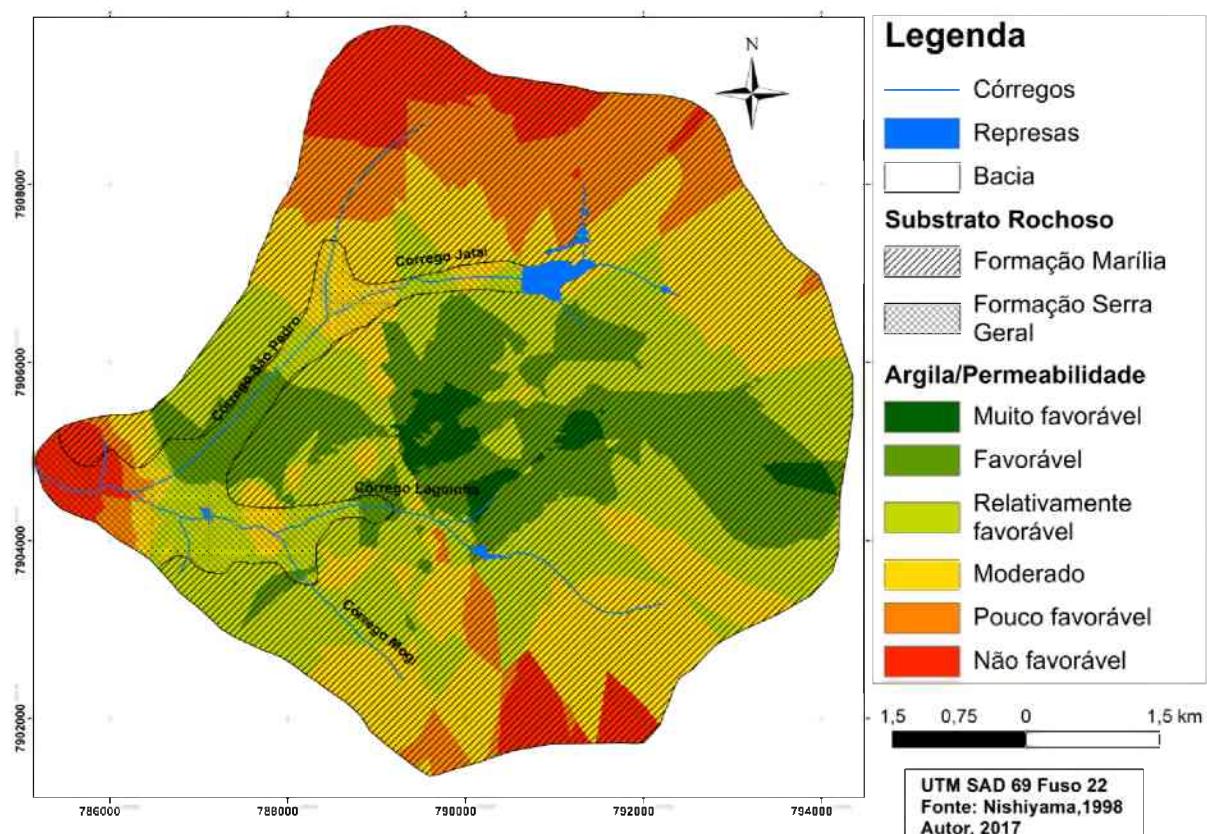
Figura 138- Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das porcentagens de fração argilas com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 10 cm sobrepostas ao substrato rochoso na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



Elaborado: Autor, 2017

Assim, ao integrar estas informações observa-se que áreas favoráveis a infiltração reduzida na porção de ocorrência do substrato Serra Geral. Esta observação pode ser comprovada pela Figura 139, na qual se observa porções mais favoráveis à infiltração entre os Córregos Laginha e Mogi. Nesta Figura, ocorre a sobreposição do substrato nas porcentagens de argilas e a permeabilidade da profundidade de 40 cm.

Figura 139 – Áreas com possibilidade a infiltração geradas da integração das porcentagens de fração argila com o coeficiente de permeabilidade para a profundidade de 40 cm sobrepostas ao substrato rochoso na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG

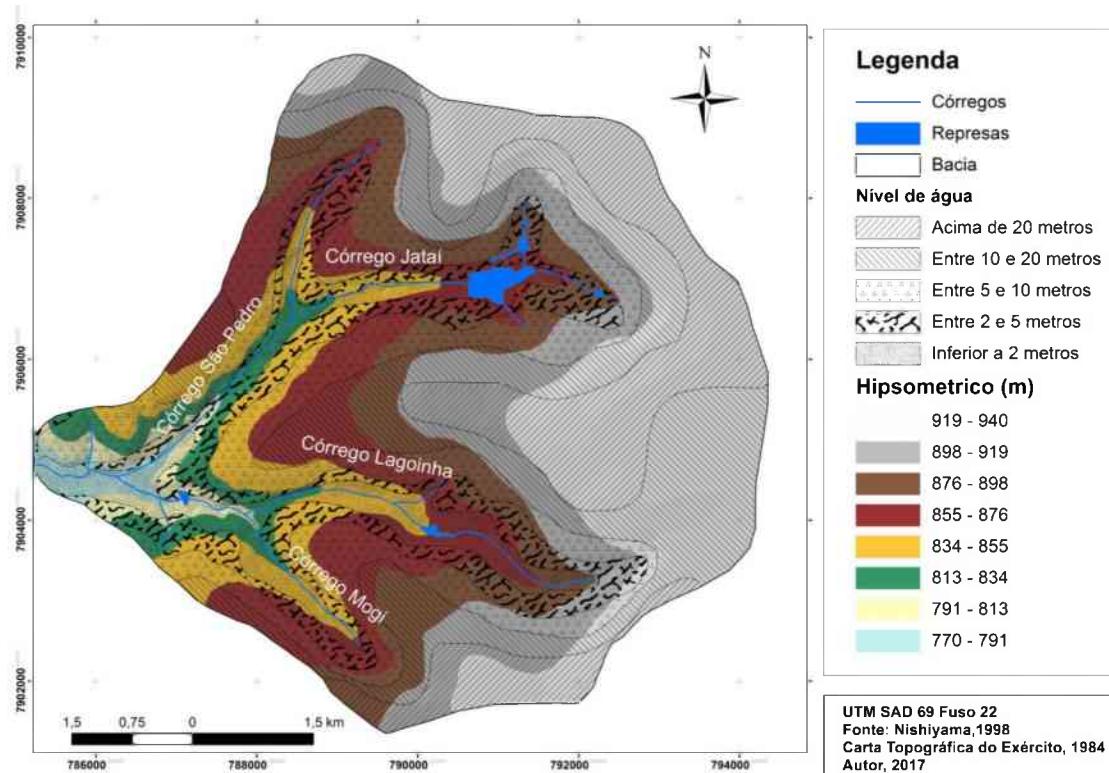


Elaborado: Autor, 2017

Outro parâmetro que influencia na infiltração da água é a profundidade do lençol freático, que possibilita determinar a espessura da zona não saturada para infiltração da água. A Figura 140 apresenta o nível de água freática mapeado por Nishiyama (1998) e Beicher (2001) sobreposta as cotas altimétricas para determinar a espessura da zona não saturada na área de estudo.

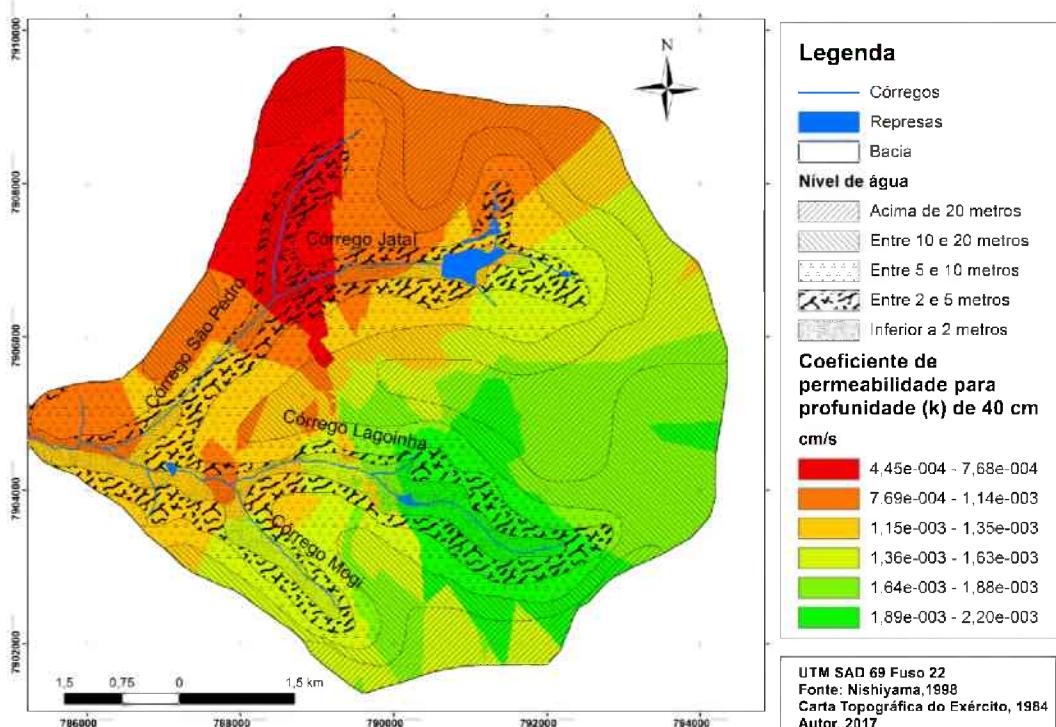
Ao analisar esta Figura percebe-se que próximo a foz o nível do lençol encontra-se inferior a 2 metros com a cota do intervalo de 770 à 789 metros. Já na área próxima aos divisores de água observou-se que o nível de água está acima de 20 metros. Ao analisar o nível de água freática é fundamental integrá-lo com o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ) para compreender os locais com maior área de infiltração. A Figura 141 apresenta a integração entre o nível de água freática e o coeficiente de permeabilidade ( $k$ ). Verifica-se que na região sul da bacia possui um profundo nível acima de 20 metros e entre 10 e 20 metros para coeficiente de permeabilidade de  $10^{-3}$ .

Figura 140 – Nível de água integrado às cotas altimétricas na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



Elaborado: Autor, 2017

Figura 141 – Nível de água integrado ao coeficiente de permeabilidade (k) para a profundidade de 40 cm na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



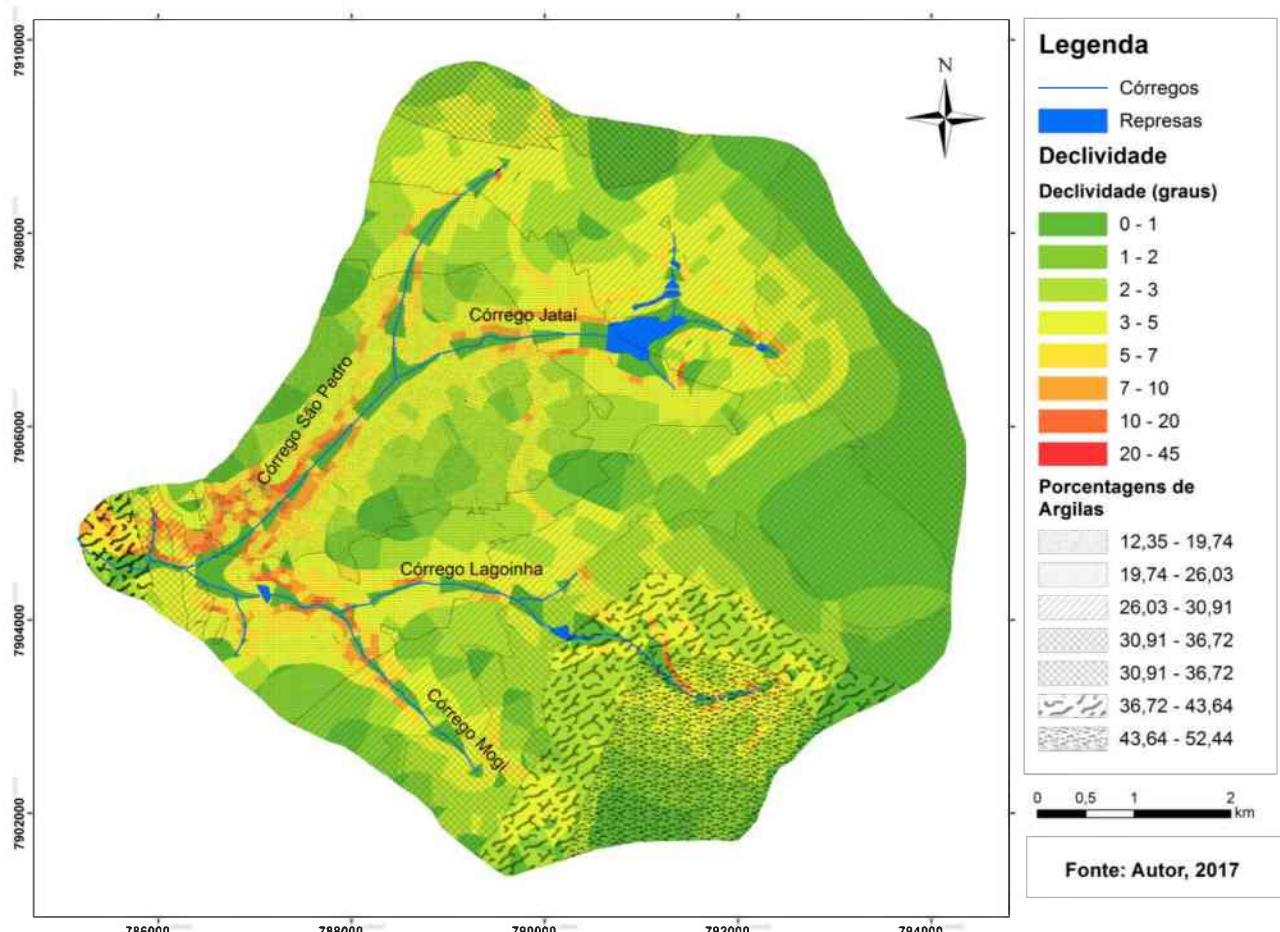
Elaborado: Autor, 2017

### b) Escoamento Superficial

Na análise do escoamento superficial realizou-se a integração da declividade com o material inconsolidado, que no caso pode ser compreendido pela porcentagem de argila. A Figura 142 apresenta a sobreposição da porcentagem de argila sobre a declividade em graus na Bacia do Córrego São Pedro.

A porcentagem de SAP é inversamente proporcional a de argila, o que se pode observar na mesma Figura: a área com aproximadamente 15% de argila possui 80% de SAP, o que favorece a infiltração. Neste local, é necessário ressaltar que a declividade é de aproximadamente 5 graus para toda a área. Entretanto, destacam-se alguns pontos de maior declividade com a aproximação da foz.

Figura 142 – Porcentagens de Argilas sobre a declividade na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG

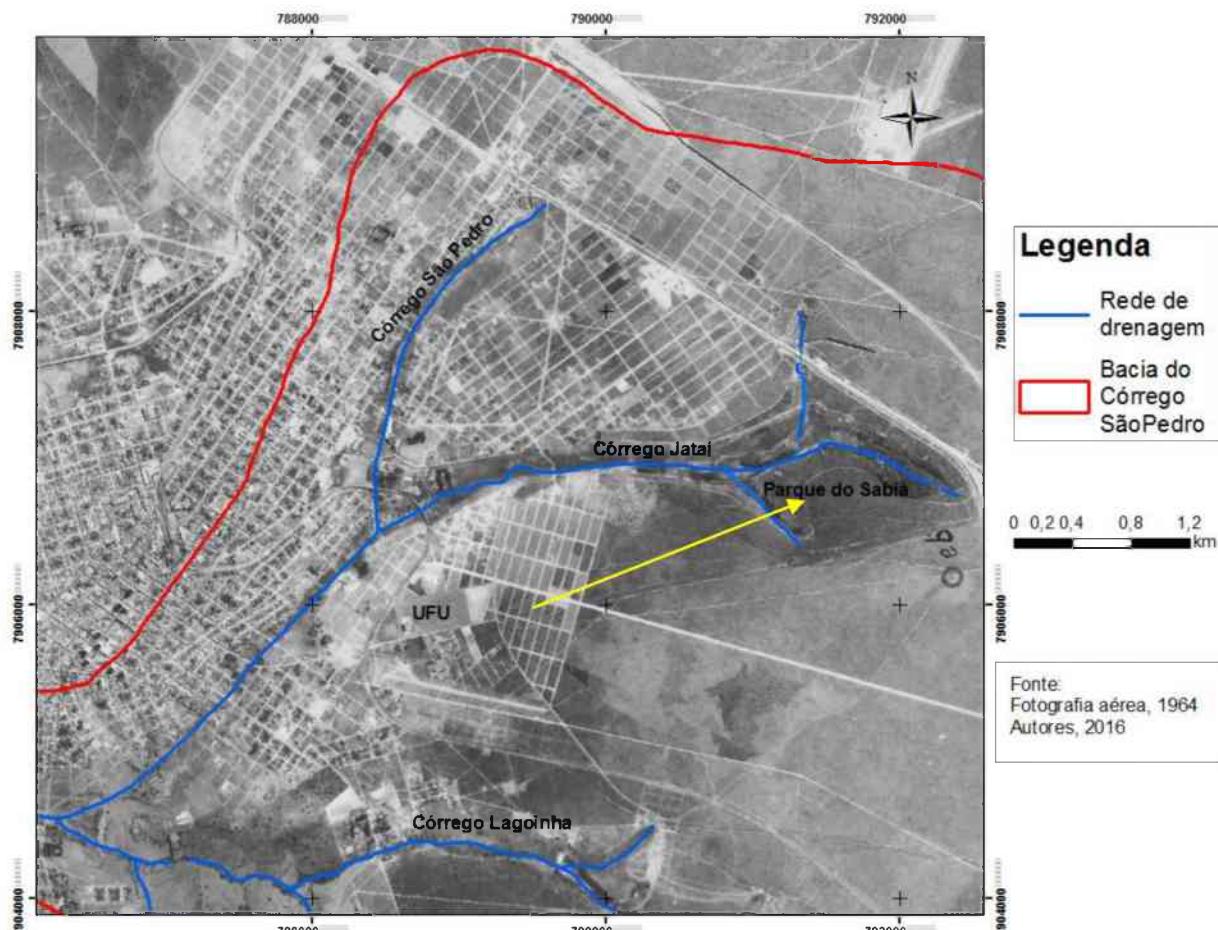


Elaborado: Autor, 2017

A Figura 142 destacou a área da foz do Córrego São Pedro com o Rio Uberabinha com a presença de declividades no intervalo de 20 à 45 ° e com alta fração argila. Já na região sul da bacia percebeu-se uma variação na quantidade de argila com uma declividade com valores menores de 5°.

Além disso, a área de estudo está localizada na área urbana de Uberlândia como já foi apresentado no capítulo da caracterização da área de estudo. Percebe-se que os arruamentos, modificam a direção do escoamento superficial na vertente. Na área de estudo o traçado do arruamento em forma de um tabuleiro de xadrez (Figura 143), como nos bairros Santa Mônica e Segismundo Pereira, revela que as ruas principais têm o maior comprimento, cortando as curvas de nível e escoando a água da chuva para as áreas próximas dos córregos.

Figura 143 – Visualização de loteamentos na Fotografia aérea (1964) na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



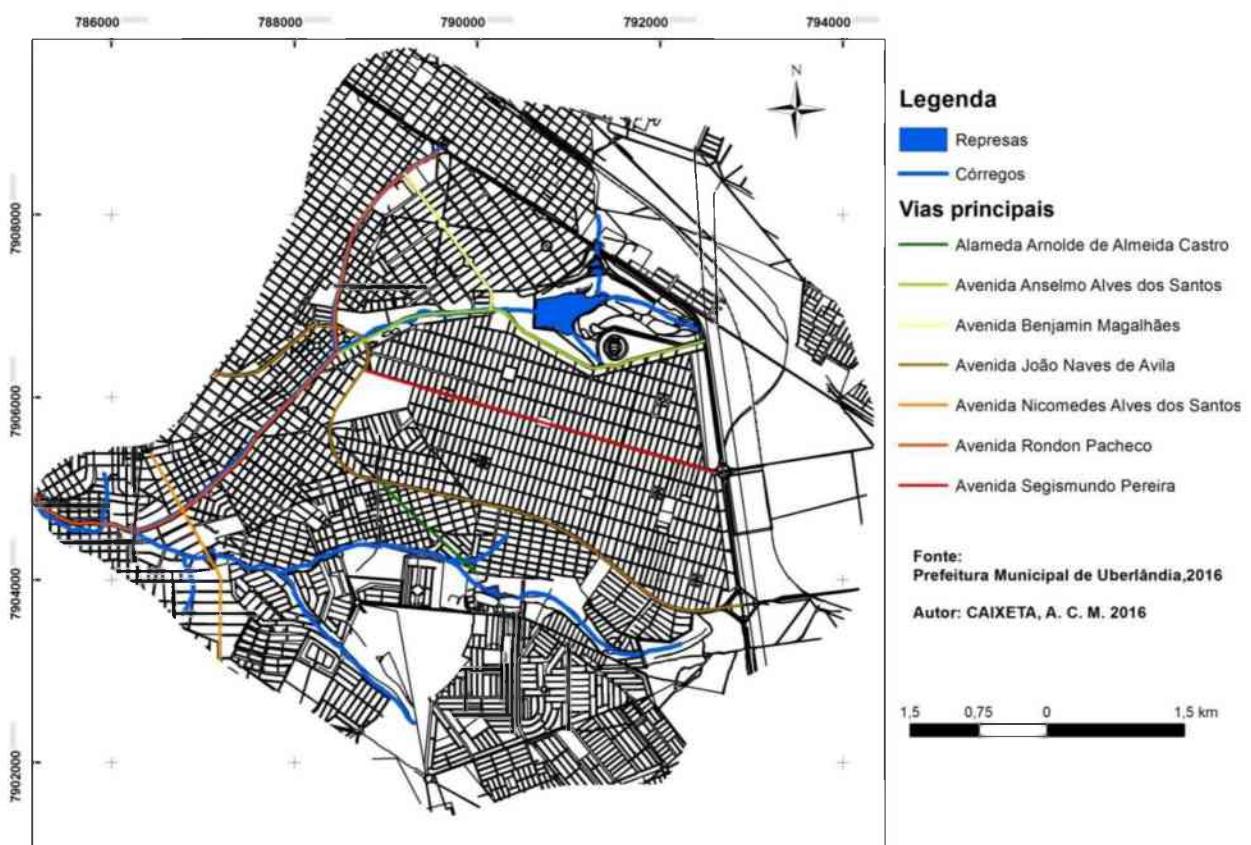
Elaborado: Autor, 2016

A Figura 143 apresenta uma fotografia aérea de 1964. Percebe-se um vetor de expansão entre a UFU no sentido Parque do Sabiá apresentado pela seta amarela. Esta seta

está sobre um loteamento que tem um formato de tabuleiro, onde os quarteirões possuem praticamente a mesma distância. Nesta mesma área percebe-se um tímido crescimento urbano próximo ao Córrego Lagoinha. Outro ponto de destaque desta mesma Figura é outro loteamento com o traçado definido entre os Córregos São Pedro e Jataí.

Já na Figura 144, apresentam-se algumas vias principais que propiciam maior condução das águas pluviais favorecendo o escoamento superficial e consequentemente o aumento da vazão. Com isto, percebe-se pela mesma Figura que a maioria das avenidas apontadas cruza ou termina em algum córrego da bacia somando com a vazão do mesmo. Como por exemplo, a Avenida Segismundo Pereira possui aproximadamente 4 km em declive e atravessando as curvas de nível de aproximadamente 90% até chegar à Avenida João Naves de Ávila, que cruza com Avenida Rondon Pacheco (sobre o Córrego São Pedro).

Figura 144 – Vias principais de drenagem na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG



Elaborado: Autor, 2016

### c) Comportamento do solo no escoamento superficial e na infiltração

Pelo comportamento do solo superficial em relação a água percebe-se uma significativa permeabilidade na área de estudo. Nota-se que a argila dificulta a infiltração de

água. Já o comportamento das partículas classificadas como SAP favorecem a absorção maior da água pelo solo.

A Figura 145 apresenta o mapa de potencial de infiltração. Observa-se um baixo potencial de infiltração nas áreas próximas aos canais e na foz do Córrego São Pedro no Rio Uberabinha. Na área próxima ao divisor de água obtiveram-se os maiores valores da interpolação. Ademais é necessário somar os valores de coeficiente de permeabilidade ao mapa geoambiental de potencial de infiltração. Esta junção foi apresentada na Figura 146.

Ao comparar a Figura 146 e Figura 145 verifica-se o aumento na área de mais adequado a infiltração, pois os valores de permeabilidade para a profundidade de 40 cm são maiores. Desta forma, percebe-se quando possui um pouco mais de profundidade no solo possibilita a infiltração.

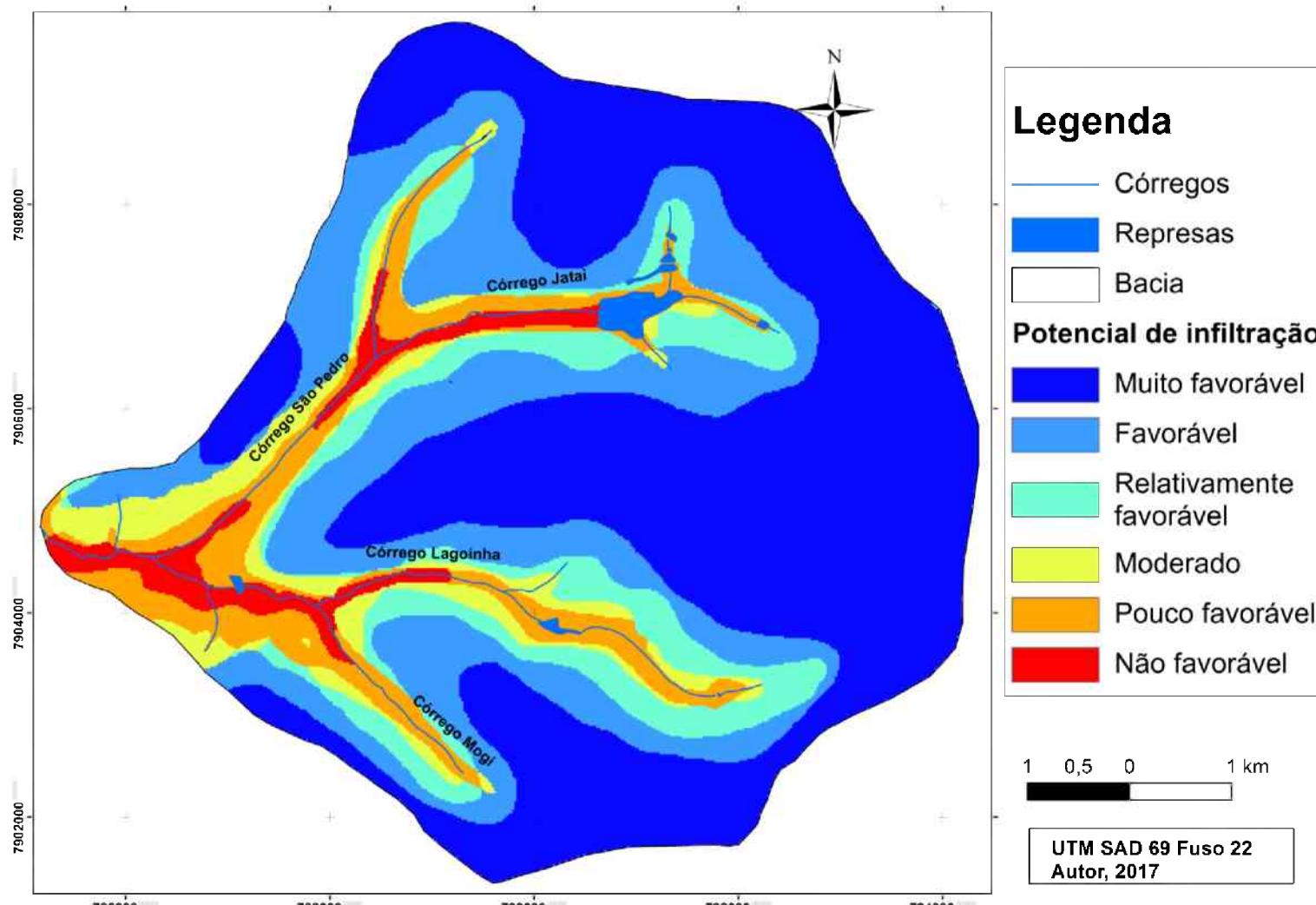
Outro destaque da Figura 146 são as áreas adjacentes aos canais classificadas com não adequadas a infiltração corroborando para a formação das inundações próximo aos canais. Assim, percebesse o aumento da inundaçāo tanto por características naturais quanto pela ocupação antrópica comprovando a necessidade de medidas de contenção da água.

Como foi identificada anteriormente a edificação das galerias para águas pluviais adjacentes ao canal como uma medida estrutura. Entretanto, observou-se a presença de entulhos nas bocas de lobo comprovando a necessidade de medidas não estruturais para que a comunidade possa compreender a necessidade de preservação, principalmente funcional, destas galerias. Por isso, a Figura 146 comprova que ambas as medidas devem ser utilizadas comitadamente para reduzir os prejuízos da inundaçāo em episódios de chuvas intensas.

Após analisar os dados dos mapas gerados percebe-se que é necessário um estudo mais aprofundado para determinar locais onde se obtiveram maiores valores do mapa de adequabilidade de infiltração. Entretanto, como a imagem obtida neste trabalho é de 2007 é necessário buscar uma imagem mais atual de uso do solo local, mas a Figura 147 apresenta uma setorização da região sul e oeste onde se obteve os maiores valores do mapa geoambiental de adequabilidade da Bacia do Córrego São Pedro.

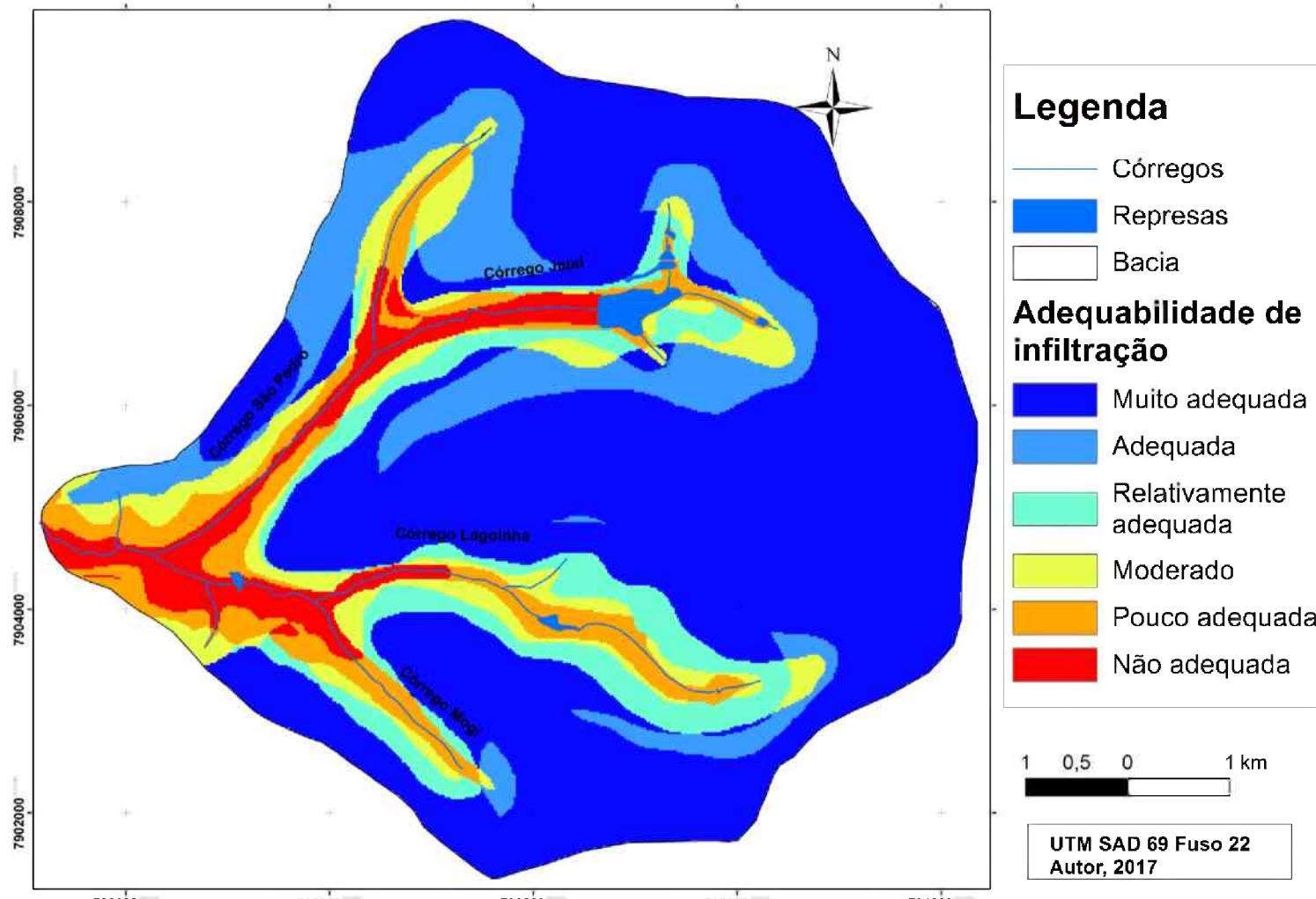
Ressalta-se que a região norte da Bacia próximo ao Córrego São Pedro possui uma densa urbanização reduzindo a possibilidade de implantação de medidas estruturais. Mas, que é fundamental a sua inserção no Plano de Drenagem Urbana como, por exemplo, determinar percentuais de área verde ou implantação de áreas de captação de água de chuva no telhado ou implantação de telhados verdes em alguns locais. Ressalta-se que nesta região possui uma grande quantidade de galpões que poderia utilizado para captação as áreas de telhado.

Figura 145– Mapa de potencial de infiltração na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG



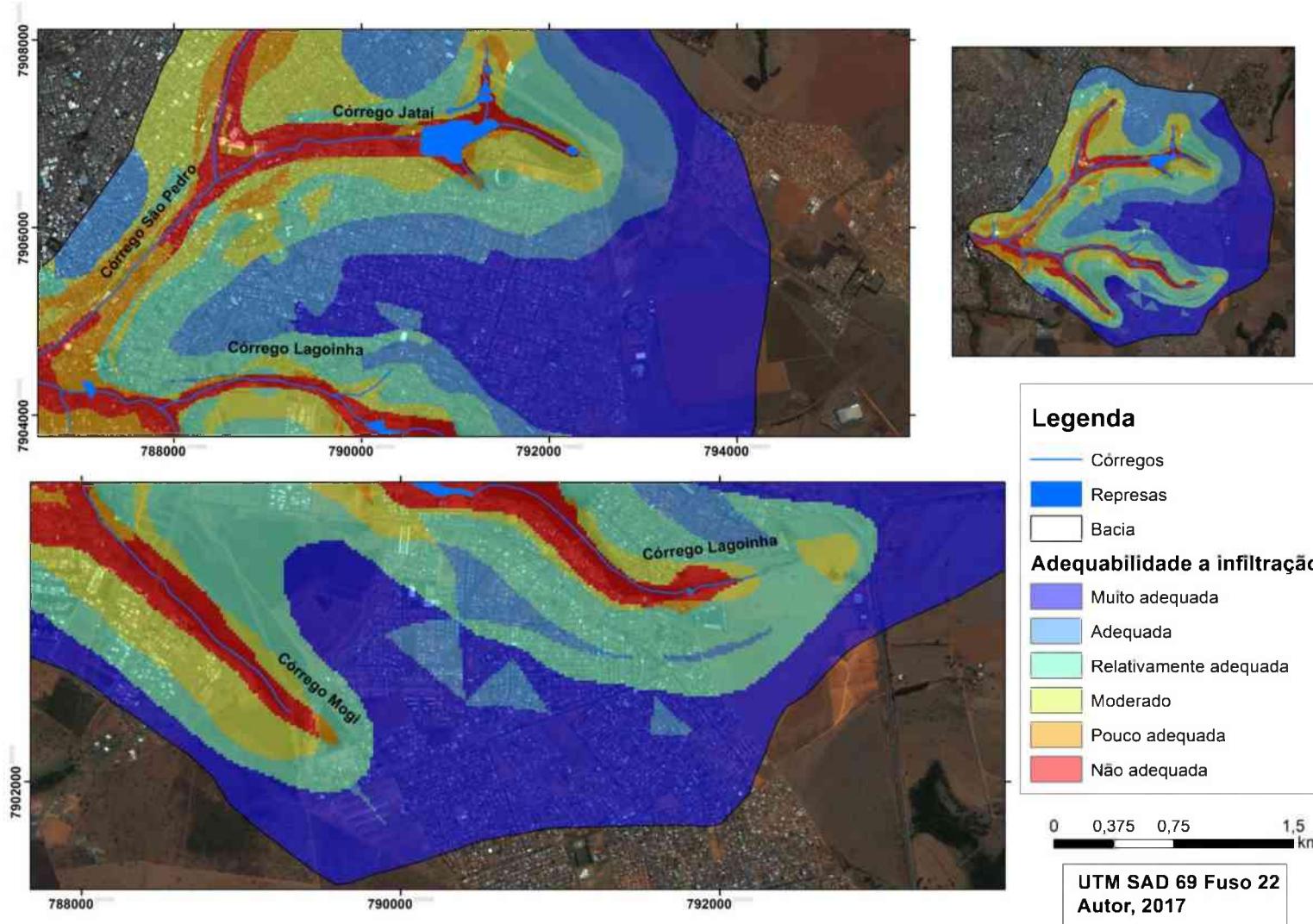
Elaborado: Autor, 2017

Figura 146– Mapa de adequabilidade de infiltração na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



Elaborado: Autor, 2017

Figura 147– Mapa destaque das áreas de maiores valores de adequabilidade de infiltração na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia – MG



Elaborado: Autor, 2017

Observa-se na Figura 147 alguns locais sem urbanização que poderiam ser utilizados para implantação de medidas estruturais para retenção de água pluviais, como a criação de bolsões, pavimentos permeáveis e parques. Outra sugestão que poderia ser utilizada nestas áreas que ainda não possui uma densa urbanização é especificar a zona de ocupação com um parcelamento maior do que está previsto no plano diretor de Uberlândia.

A Figura 147 possui um fragmento para parte de baixo do mapa de adequabilidade de infiltração entre os Córregos Mogi e Lagoinha com uma tímida ocupação urbana com a identificação de lotes com uma área ainda não ocupada e uma significativa área não ocupada, que pode ser visualizada na Figura 148.

Figura 148 – Áreas verdes no entorno da Avenida Vereador Carlito Cordeiro na Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia



Autor, 2016

Mas, para determinar taxas de áreas verdes, implantação de infraestruturas de infiltração e locais de preservação é necessário desenvolver mais estudo com o intuito de determinar este valor. Visto que, de acordo com o trabalho de Costa (1986) existem alguns locais de colapsabilidade na área urbana de Uberlândia, que propiciaram o rebaixamento de alguns locais possibilitam a condenação de algumas edificações.

## 7. CONCLUSÃO

A unidade TSGM foi classificada como um solo ML – CL, com uma baixa compressibilidade, comprovando que o solo sofre pouca deformação, que favoreceu uma estabilidade. Nesta unidade a argila se junta formando os agregados maiores. Estes determinam um comportamento semelhante a de solos siltosos, portanto mais susceptíveis à infiltração de água.

Após a análise granulométrica, classificou-se os solos da unidade TCC com valores anormalmente elevados da fração silte, chegando ao máximo de 28% em peso. Porcentagens elevadas dessa fração não deveriam ocorrer na unidade TCC, que normalmente deveriam ter em torno de 5%, por se caracterizar como solo muito evoluído (latossolo). Tal diferença entre os valores obtidos e o esperado não decorreu de erros na execução dos ensaios, mas sim da baixa eficiência do defloculante empregado para solos ensaiados com características lateríticas, o hexametafosfato de sódio. Este defloculante não consegue romper a cimentação realizada pelo óxido de ferro ( $Fe_2O_3$ ) e liberar as partículas de argila. Consequentemente, houve o aumento do teor de silte ou de falso silte.

Os valores dos coeficientes de permeabilidade ( $k$ ) na unidade TCC para a profundidade de 10 cm variaram de  $3,01 \times 10^{-5}$  cm/s a  $3,13 \times 10^{-3}$  cm/s, enquanto que para a profundidade de 40 cm variaram de  $3,62 \times 10^{-5}$  a  $6,62 \times 10^{-3}$  cm/s. Nota-se que ocorreu uma ampla variação de  $k$ , desde valores elevados da ordem de grandeza de  $10^{-3}$  cm/s, compatível com solos arenosos, até a ordem de grandeza de  $10^{-5}$  cm/s, que é característico para solos argilosos.

A unidade RFM está próxima das nascentes, sendo que a nascente do Córrego Lagoinha está totalmente inserida nesta unidade. Tal unidade é fundamental para a contribuição de escoamento superficial de águas pluviais aos canais fluviais da bacia do São Pedro e para as inundações na Av. Governador Rondon Pacheco.

Verifica-se uma granulometria constituída de aproximadamente 50% de areia (fina e média), 33% de argila e 0,8% de pedregulhos, que a classifica como um solo do tipo CL (argiloso de baixa compressibilidade).

A unidade RFSG foi classificada com as seguintes frações granulométricas: 30,7% de fração argila, 27,2 % de silte, 18,6% de areia fina, 12,8% de areia média, 2,2% de areia grossa e 8,4% de pedregulho. Observa-se que as amostras 30 e 34 apresentaram fragmentos de basalto em vias de intemperização. Estas amostras comprovam que, quando fragmentos de basalto ainda são encontrados nas amostras, estes determinam uma granulometria

característica, com elevada porcentagem de fração pedregulho. Após essa análise, esta unidade foi classificada como um solo CL-ML, ou seja, solo argiloso de baixa compressibilidade ou solo siltoso de baixa compressibilidade.

Na unidade O/H que faz limite com todas as unidades e está associada aos canais fluviais, ocorre o extravasamento atingido das áreas inundáveis. A sua granulometria é composta por 25,1% de fração argila, 19,2% de silte, 20,8% de areia fina e 19,4% de areia média. Esta é classificada como um solo ML – CL de baixa compressibilidade (L).

A análise integrada das características físicas da bacia constatou que a porção sul da bacia, apesar de apresentar alta concentração de argila, ostenta um dos menores valores de fração silte encontrados. Na área adjacente ao Córrego São Pedro, há cerca de 80% dos valores de SAP. Na foz os valores de SAP diminuem para aproximadamente 50% ocorrendo um aumento da argila. Isto contribui para a não infiltração, para o aumento do escoamento superficial e para a redução da recarga da bacia.

Na porção próxima da foz do córrego São Pedro, junto ao rio Uberabinha, obtiveram-se valores reduzidos de infiltração, em razão deste setor da bacia apresentar alta porcentagem de argila, baixa permeabilidade e o nível do lençol encontrar-se inferior a 2 metros, com a cota do intervalo de 770 à 789 metros. Outro destaque são as bordas da bacia que possuem uma área de infiltração possivelmente razoável, tendendo a valores entre baixo e médio.

A região do centro da bacia possui áreas mais favoráveis à infiltração das águas pluviais. As áreas situadas ao norte, sul e na foz do Córrego São Pedro no Rio Uberabinha mostram uma significativa redução da infiltração de água. Outra área de destaque para infiltração é a região sul da bacia que possui um profundo nível freático de aproximadamente 20 metros, além de um coeficiente de permeabilidade de  $10^{-3}$ . Do mesmo modo, nota-se que, ao realizar ensaios de permeabilidade *in situ* com o permeâmetro Guelph na área da bacia do córrego São Pedro, obtiveram-se valores de  $k$  variando entre as ordens de grandeza de  $10^{-4}$  a  $10^{-5}$  cm/s.

Assim, o trabalho ampliou o nível de conhecimento acerca das condições do meio físico da área da bacia, com a sua potencialidade de infiltração próxima ao divisor de águas e sua restrição à infiltração na foz do Córrego São Pedro no Rio Uberabinha. Espera que este conjunto de mapas com todas as variações do meio físico possa ser utilizado pelas diferentes áreas do conhecimento que atuam diretamente no meio físico (engenharia civil, arquitetura e saneamento).

Espera-se que os dados gerados pelo trabalho sejam subsídios ao planejamento do uso e da ocupação local e escolha de áreas onde estudos devem ser realizados em escalas de maior detalhe.

Na área da Bacia do Córrego São Pedro é possível realizar a implantação de medidas estruturais, nas áreas classificadas como adequadas e muito adequadas na região da bacia, em que ainda não está densamente urbanizada, e na área que foi classificada como moderada e relativamente adequada, em que é possível a implantação das medidas não-estruturais. Com isso, possibilita-se uma ação de controle de inundação, infiltração e escoamento com um custo de manejo menor.

Dessa forma, o trabalho apresentou que episódios de inundação adjacente ao Córrego São Pedro são oriundos tanto pelas características geoambientais quanto pela ocupação antrópica. Esta comprovação ressalta a necessidade de inserção de medidas no Plano de Drenagem Urbana de Uberlândia, para contenção, retenção das águas pluviais nas áreas com a infiltração mais adequada, visto que a ocupação urbana de Uberlândia está crescendo, principalmente na direção sul, na qual ainda existem parcelas significativas de áreas verdes para serem ocupadas. Assim, fica um alerta e uma análise da Bacia do Córrego São Pedro para os gestores urbanos.

## **8. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.**

- Aprofundar estudos sobre o nível de água da bacia;
- Realizar um estudo pontual para instalação de infraestrutura para retenção de água pluvial;
- Delimitação de áreas mais adequadas à instalação para as diferentes formas de ocupação mediante análise dos atributos do meio físico;
- Utilizar penetrômetro de solo para ensaios de resistência a penetração.

## 9. REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Determinação do limite de liquidez:** NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo - Determinação do limite de plasticidade:** NBR 7180 Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo – Análise granulométrica – Método de ensaio – Procedimento:** NBR7181. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Rochas e Solos – Terminologia:** NBR6502. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado para concreto.** NBR7211 Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABREU, A. E. S. AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento geotécnico para gestão municipal. **Geotecnica** n.º 115 – Março 09 – pp. 45-80.

AB'SABER, A. N. Contribuição à Geomorfologia da área dos Cerrados. In: **Simpósio sobre o Cerrado.** São Paulo: EDUSP,97-103p. 1971.

AGUIAR, A. B. **O emprego do Permeâmetro de Guelph na determinação da permeabilidade do solo, de camadas de lixo e sua cobertura** [Rio de Janeiro] 2001XVII, 90 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc.,Engenharia Civil, 2001) Tese – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

ANDRADE, S. L. FERREIRA, V.O. Gênese e impactos socioambientais das precipitações observadas na Bacia do Córrego São Pedro, em Uberlândia/MG, entre os dias 12 e 15 de novembro de 2007 **ENG Encontro Nacional dos Geógrafos.** Realizado de 25 a 31 de julho de 2010. Porto Alegre - RS, 2010. ISBN 978-85-99907-02-3

ANDRADE, R. F. **Mapeamento Geotécnico preliminar em escala semidetalhe (1:25000) da área de expansão urbana de Uberlândia – MG.** 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia.2005

ANDRADE, S. L. FERREIRA, V. O. SILVA, M. M. Elaboração de um mapa de risco de inundações da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, área urbana de Uberlândia-MG. **Caderno de Geografia**, v.24, n.41, 2014

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos.** 10<sup>a</sup> Ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2004.

ALMEIDA, Wagner Santos de; Souza, Newton Moreira de; Camapum de Carvalho, José. Produção de carta geotécnica preliminar de capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica Corumbá IV (GO). In: CAMAPUM DE CARVALHO, José; GITIRANA JUNIOR, Gilson de Farias Neves; CARVALHO, Eufrosina Terezinha Leão (Org). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais.** Brasília: Faculdade de Tecnologia, 2012. p. 581 – 606

BACCARO, C.A.D. As unidades geomorfológicas e a erosão nos chapadões do município de Uberlândia. **Sociedade e Natureza**, 6 (11 e 12): 19 – 23, janeiro/ dezembro de 1994.

BARBOSA, Tamires Silva. FURRIER, Max Avaliação morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Marés – PB, para verificação de influência neotectônica. **Cadernos de Geociências**, v. 9, n. 2, novembro 2012.

BATISTA, P. H. L. **Cartografia Geotécnica aplicada aos riscos de alagamento e inundações na Bacia do Rio São Bartolomeu.** Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

BEICHER, E. J.. **Mapeamento da Profundidade da superfície freática do setor central da malha urbana de Uberlândia - MG.** 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia,, 2001.

BOLDRIN, R. S. **Avaliação de cenários de inundação urbana a partir de medidas não estruturais de controle: Trecho da bacia do Córrego do Gregório, São Carlos – SP.** Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BELLU, A.; FERNANDES, L. F. S.; CORTES, R. M.V.; PACHECO, F. A.L. A framework model for the dimensioning and allocation of a detention basin system: The case of a flood-prone mountainous watershed. **Journal of Hydrology** 533 (2016) 567–580.

BITAR, O. Y. (Org.) **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa.** São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014

BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva;** engenharia das águas pluviais nas cidades. São Paulo: Blucher, 2011

BOTELHO, R. G.M. Planejamento Ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. ;BOTELHO, R. G. M. (org.) **Erosão e conversão do solos-** conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Berthand Brasil, 1999

BRASIL - PROJETO RADAM **Levantamento de recursos naturais.** Ministério das Minas e Energia, v. 31, Rio de Janeiro, 1983.

CAIXETA, A. C.; NISHIYAMA L. Caracterização morfométrica da Bacia do Córrego São Pedro em Uberlândia - MG utilizando técnicas de geoprocessamento. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 22 a 27 de novembro de 2015, Brasília. Anais disponíveis em: <[http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-1103\\_caracterizacao-](http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/detalhes-1103_caracterizacao-)

morfometrica-da-bacia-do-corrego-sao-pedro-em-uberlandia-mg-utilizando-tecnicas-de-geoprocessamento>

CAMAPUM DE CARVALHO, José; GITIRANA JUNIOR, Gilson de Farias Neves; CARVALHO, Eufrosina Terezinha Leão (Org). **Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais**. Brasília: Faculdade de Tecnologia, 2012.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo. Oficina de texto, 2005.

CARVALHO, Edézio Teixeira de; PRANDINI, Fernando, Luiz. Áreas Urbanas. In: OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de. **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

CATELAN, Márcio José. Expansão territorial urbana e enchentes em Bauru. In: Simpósio Internacional sobre Cidades Médias, II., 6 a 9 de novembro de 2006, Uberlândia. **Anais em CD-ROM**. Uberlândia - Minas Gerais - Brasil, Universidade Federal de Uberlândia, nov. 2006. p. 1-14.

CENTRO DE ESTUDOS, PESQUISAS E PROJETOS ECONÔMICO - SOCIAIS – CEPES. **Aspectos Gerais População Residente no Município de Uberlândia – MG**. Boletim de Dados Demográficos – I. Uberlândia, 2003. Disponível em: <<http://www.portal.ie.ufu.br/cepes/tabelas/Pesquisas/populacao.pdf>> Acesso em: 14 novembro 2015.

CORRÊA, Roberto Lobato. **O espaço urbano**. São Paulo: Ática, 2005.

CORREIO DE UBERLÂNDIA 1982 e 1983. Arquivo Municipal de Uberlândia.

CORREIO DE UBERLÂNDIA 2012. Disponível em: <<https://www.correiodeuberlandia.com.br/cidade-e-regiao/uberlandia-tera-cinco-novos-bairros-fora-do-atual-perimetro-urbano/>> Acessado em 10 de janeiro de 2014.

COSTA, M. E. da. **Estudo da colapsibilidade dos solos superficiais de Uberlândia.** São Carlos-SP, 1986. 1v. Dissertação de Mestrado, USP de São Carlos.

COSTA, Felipe Mariano provenzale ; NISHIYAMA, Luiz . Utilização do Permeâmetro Guelph e Penetrômetro de Impacto em estudos de uso e ocupação dos solos em bacias hidrográficas.. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 08, p. 131-143, 2007

CHAVES, Camila Jardinetti. Mapeamento geoambiental dos municípios de Espírito Santo do Pinhal e Santo Antônio do Jardim (SP). 146p. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo: Blucher, 1980.

CUNHA, S. B. GUERRA, A. J. T. **A questão ambiental:** diferentes abordagens. Rio de Janeiro: Bretrand Brasil, 2003.

DAI, F. C. LEE, C. F. Zhangc, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. **Engineering Geology.** Volume 61, Issue 4, September, Pages 257-271, 2001.

DIAS, C. Cerdeira. **Avaliação geoambiental da região do Médio Rio Grande.** 436p. Dissertação (Mestrado em Geotecnica). Programa de Pós-Graduação em Geotecnica. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013

DIAS, V. S. **Uso de modelo hidrológico em bacia hidrográfica urbana para previsão de enchentes. Estudo de caso: microbacia do córrego Jataí – Uberlândia/MG.** 154 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

DIGITALGLOBE / PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. Imagens do satélite **QuickBird QBCP**, escala 1:2000, julho/2007.

DEL GROSSI, S. R. D. A dinâmica climática atual de Uberlândia e suas implicações geomorfológicas. **Sociedade de Natureza**, 5 (9 e 10): 115 – 120, janeiro/dezembro de 1993.

FAILACHE, M. F. **Estudo comparativo de duas metodologias na definição de unidades geoambientais: Ribeirão do Feijão (São Carlos-SP)**. p. 200. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2015.

FERNANDES, Francely Martinelli; CERRI, Leandro Eugenio da Silva. ELABORAÇÃO DA CARTA GEOTÉCNICA DE SUSCETIBILIDADE DE UM TRECHO DA RODOVIA MARECHAL RONDON - SP-300 (SP, BRASIL). **Geociênc.** (São Paulo) [online]. 2011, vol.30, n.3, pp. 457-465. ISSN 0101-9082.

FIOREZE, A. P. OLIVEIRA, L. F. C. DE FRANCO, A. P. B. Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 167-173, abr/jun. 2010

FRANCISCHET, M.M.; ALAMY FILHO, J. E. Equação de Intensidade-Duração-Frequência e Distribuição Temporal das Chuvas Intensas para o Município de Uberlândia Aplicadas na Estimativa de Vazões Críticas Geradas em Lotes. In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, 2011.

FONTES, Silvana Brandão. **Estudos geoambiental da Bacia do Rio Pardo, a partir da compartimentação em Ottobacias – escala 1:100 000**. p. 279. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. 2004.

GUERRA, A. J. T. CUNHA, S.B. **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 8 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12<sup>a</sup>ed. Rio de Janeiro: Berthand Brasil.2013

GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. In: GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012

HORA, Silmara Borges da. **Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA** Universidade Estadual de Santa Cruz . Ilhéus – Bahia, 2009, p.101

HORA, Silmara Borges da; GOMES, Ronaldo Lima. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 21 (2): 57-75, ago. 2009

HUFF, FLOYD A. **Time Distributions of Heavy Rain storms in Illinois**. Illinois State Water Survey, Champaign, Circular 173, 1990. Disponível em: <<http://www.isws.illinois.edu/pubdoc/C/ISWSC-173.pdf>>. Acessado em: 8 de abril de 2014.

Instituto Brasileiro Geografia e Estatística. **IBGE**, Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acessado em 20 de maio de 2014. Fonte: IBGE, Censo Demográfico 1980, 1991, 2000 e 2010, e Contagem da População 1996.

**JORNAL GLOBO**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/minas-gerais/triangulo-mineiro/fotos/2013/05/veja-fotos-dos-estragos-causados-pela-forte-chuva-em-uberlandia.html>> Acessado em 10 de janeiro de 2014.

KORMANN, A. C. M. SESTREM, L. P. PRETTO, J. H. F. **Comportamento de Encostas no Estado de Santa Catarina: Revisão de Mecanismos Geológico-Geotécnicos e Estudo de Caso**. 2013. Disponível em: <<http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/geosul2013criciuma/2013-kormann-sestrem.pdf>> Acessado em: 15 de março de 2016.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos solos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, C. A. G.; SILANS, A. P. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.12, p.2311-2320, dez. 1999.

MENDES, P. C. **Gênese e estrutura espacial das chuvas na cidade de Uberlândia – MG.** 2001. 258 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2001

MENDONÇA, F; OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia:** noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de textos, 2007

MILOGRANA, J., 2001. **Estudo de Medidas de Controle de Cheias em Ambientes Urbanos.** Dissertação de Mestrado, publicação MTARH.DM- 035A/2001, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120p.

MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA, F. **Clima Urbano.** São Paulo: Contexto, 2003

MORAIS, F. Infiltração – uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, v.22, n.38, 2012

MOREIRA, I. A. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Hidrológica, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. 96p.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente.** 4 ed. Rio de Janeiro; Fortaleza: ABES, 2011.

NASCIMENTO, N.; GUIMARÃES, E.; MINGOTI, S. A.; MOURA, N.; FALEIRO, R. Avaliação da percepção pública do risco de enchentes e de medidas de controle de inundações em áreas urbanas. IN: RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas.** Rio de Janeiro. ABES, 2009.

NOQUEIRA, J..B. **Mecânica dos Solos. Ensaios de Laboratório.** EESC/USP/Departamento de Geotecnia. 2005

NOSSA, T. C. B.. **Mapeamento geotécnico preliminar para disposição de resíduos sólidos no município de Araxá - MG.** 2004. Dissertação - Universidade Federal de Uberlândia, 2004

NISHIYAMA, Luiz. Geologia do município de Uberlândia (MG) e áreas adjacentes. Revista **Sociedade & Natureza**. EDUFU. 1(1): 9-16, Uberlândia, 1.989.

NISHIYAMA, Luiz. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100 000: aplicação no município de Uberlândia – MG.** 1998. 372 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Geotecnica) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo/ São Carlos, 1998.

**PLANO DIRETOR DE UBERLÂNDIA.** LEI COMPLEMENTAR N° 432 DE 19 DE OUTUBRO DE 2006. Disponível em: <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms\\_b\\_arquivos/2273.pdf](http://www.uberlandia.mg.gov.br/uploads/cms_b_arquivos/2273.pdf)>. Acessado em: 20 de julho de 2014.

PINTO, C. S. **Curso básico de Mecânica dos Solos.** 3. ed., São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2006. 355p

**PORTAL UBERLÂNDIA.** Disponível em: <[http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/noticia/7162/rede\\_de\\_drenagem\\_da\\_segismundo\\_pereira\\_esta\\_60\\_concluida.html](http://www.uberlandia.mg.gov.br/2014/noticia/7162/rede_de_drenagem_da_segismundo_pereira_esta_60_concluida.html)> Acessado em 03 de janeiro de 2015

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica.** 4 ed. São Carlos: EESC-USP, 2006

RESTREPO, J. S. 2010. **Avaliação da infiltrabilidade de um perfil de solo tropical.** Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM - 188 /10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 134 p.

REZENDE, G. B.M **Metodologia numérica para estimativa e delimitação de áreas inundadas: uma ferramenta de auxílio à elaboração de Planos Diretores de**

**Drenagem Urbana.** 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

**RODARTE, Fernando do Amaral.** **Carta de compartimentação fisiográfica na escala 1:50.000 a partir da análise integrada na Bacia do Ribeirão de Araras (SP).** 2015. Dissertação (Mestrado a Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho 82f. 2015

**SANTOS, Leonardo José Cordeiro.** **FIORI, Chisato Oka., CANALLI, Naldy Emerson.** **FIORI, Alberto Pio.** **SILVEIRA, Claudinei Taborda da.** **SILVA, Julio Manoel França da.** Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências.** 37(4): 812-820, dezembro de 2007.

**SANTOS, R.** **Propriedades de retenção e condução de água em solos, sob condições de campo e em forma de agregados, submetidos aos plantios convencional e direto.** 2008 Dissertação (mestrado em Ciências). Universidade Estadual de Ponta Grossa. 102 f. 2008

**SILVA, J.P.** **Estruturas de Infiltração com Utilização de Materiais Alternativos no Controle de Alagamentos, Inundações e Prevenção de Processos Erosivos.** Tese de Doutorado, Publicação G.TD-074/2012, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 215p. 2012.

**SILVA NETO, Amintas Torres.** **Caracterização geoambiental da área de expansão do município de Santana do Paraíso, Vale do Aço, MG.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. 135p. 2012.

**SILVA, R. C.** **Análises morfométricas e hidrológicas das bacias hidrográficas do Córrego Teixeiras, Ribeirão das Rosas e Ribeirão Yung, afluentes do Rio Paraibuna, município de Juiz de Fora/MG.** 2011. 97 f. (Especialização) Especialização em Análise Ambiental da Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia UFJF, Juiz de Fora, 2011.

SOARES, A. M. **A dinâmica hidrológica na Bacia do alto curso do Rio Uberabinha – Minas Gerais.** 2008. 227 f. TESE DE DOUTORADO em Geografia) Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SOARES, B. R. **Uberlândia: da cidade jardim ao portal do cerrado - imagens e representações no Triângulo Mineiro.** 1995. 366 f. (TESE DE DOUTORADO em Geografia) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SOUZA NETO, J. B. **Comportamento de um solo colapsível avaliado a partir de ensaios de laboratório e campo, e previsão de recalques devidos à inundaçāo (colapso).** 2004. 432 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2004.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e Urbanização.** São Paulo. Contexto, 2012

SUNKAR, Murat; TONBUL, Saadettin. **Hydrographic analysis of Iluh River (Batman) in relation to flood and torrent events.** Procedia Social and Behavioral Sciences 19 (2011) 537–546

TEIXEIRA, W. [et al.]. **Decifrando a Terra.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais.** 2002

TONELLO, K. C. Dias, H. C. T. Souza, A. L. Ribeiro C. A. A. S. e Leite. F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhāes - MG **R. Árvore,** Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006

TUCCI, C.E.M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 2 n.2 Jul/Dez 1997, 5-12

TUCCI, C.E.M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. **I Seminário de Recursos Hídricos do Centro- Oeste.** Brasilia. 1999

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas**. Porto Alegre. ABRH/RHAMA, 2007

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência Aplicação**. Porto Alegre. ABRH:EDUSP, 2009

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. 2.ed. Porto Alegre. ABRH:EDUSP, 2005

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

ZUFFO, A. C., LEME, P. E. GRADEX E SANTA BÁRBARA: **Método híbrido para cálculo de vazão de projeto para macro drenagem urbana**. Disponível em: <[artigocientifico.com.br/uploads/artc\\_1150910336\\_11.pdf](http://artigocientifico.com.br/uploads/artc_1150910336_11.pdf)> Acessado em: 20 de novembro de 2010.

ZUQUETTE, Lázaro, V. GANDOLFI, Nilson. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. p. 190.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras**. Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos, 1.987 (Tese de Doutoramento).

## **1. ANEXO A: Ficha de campo para amostragem**

## FICHA DE CAMPO

Fonte: NOSSA,2004. Adaptado: Autor, 2014