

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LEONARDO MOCCELLIN ZUFFO
RICARDO RANZAN**

**CARACTERIZAÇÃO DO SUBSOLO DA ÁREA URBANA DE
PATO BRANCO BASEADO EM RELATÓRIOS DE SONDAAGEM**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2014**

LEONARDO MOCCELLIN ZUFFO
RICARDO RANZAN

**CARACTERIZAÇÃO DO SUBSOLO DA ÁREA URBANA DE PATO BRANCO
BASEADO EM RELATÓRIOS DE SONDAAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Esp. Sérgio Tarcísio Rambo
Coorientador: Prof. Dr. Ney Lyzandro Tabalipa

PATO BRANCO
2014



TERMO DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DO SUBSOLO DA ÁREA URBANA DE PATO BRANCO BASEADO EM RELATÓRIOS DE SONDAGEM

LEONARDO MOCCELLIN ZUFFO

e

RICARDO RANZAN

Aos 29 dias do mês de julho do ano de 2014, às 10h00min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 26-TCC/2014.

Orientador: Prof. Esp. SÉRGIO TARCÍSIO RAMBO (DACOC / UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof. Dr. NEY LYZANDRO TABALIPA (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof. Dr WAGNER ALESSANDRO PANSERA (DACOC / UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof^a Msc. DANIELLI BATISTELLA (DAAGR / UTFPR-PB)

*Dedicamos esse trabalho aos nossos familiares e amigos que
contribuíram e incentivaram na conquista de mais essa
etapa de nossas vidas.
Nossos eternos agradecimentos.*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos nossos familiares, pela capacidade de acreditar e investir em nós. Sem vocês nada disso faria sentido.

Aos nossos amigos, pelo incentivo e apoio constante para a conclusão dessa etapa. Obrigado a todos pelo companheirismo.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco, com os quais compartilhamos o que era o broto daquilo que veio a ser esse trabalho. Agradecemos disponibilidade e contribuições fundamentais com a elaboração do mesmo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a construção de quem somos hoje. A vocês, os nossos mais sinceros agradecimentos.

*“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais
evidente fica nossa ignorância.”*
John F. Kennedy

RESUMO

RANZAN, Ricardo; ZUFFO, Leonardo M. Caracterização do subsolo da área urbana de Pato Branco baseado em relatórios de sondagem. 2014, 71 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2014.

Devido à importância que se tem do conhecimento das características geotécnicas do subsolo para se iniciar uma obra civil, desde pequeno à grande porte, foi realizado este trabalho no intuito de caracterizar o subsolo de uma área com 14,7km², situada na região central da área urbana do município de Pato Branco – PR. A caracterização teve início na coleta de dados geotécnicos a partir de informações presentes em relatórios de sondagem de simples reconhecimento com *Standard Penetration Test (SPT)*. Fazendo uso de uma base cartográfica da região os dados estimados foram georreferenciados a partir do *software Autocad* com referência de coordenadas UTM, e tratados por meio de um banco de dados elaborado na interface de trabalho do *software Excel*. Os resultados da análise espacial dos dados foram exibidos em forma de mapas digitais temáticos com características presentes na classificação de solos contida na NBR 7250/2004 de identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos. O estudo permitiu uma visualização facilitada das características do subsolo, onde se pode perceber o quão indispensável é o conhecimento do mesmo, devido a diversas alterações de sua característica em meio a uma pequena porção de área.

Palavras-chave: Caracterização do subsolo. SPT. Banco de dados. Mapas digitais temáticos. Pato Branco.

ABSTRACT

Ref: RANZAN, Ricardo; ZUFFO, Leonardo M. Subsoil characterization of the urban area of Pato Branco based on survey reports. 2014 XXX p. Work Completion of Undergraduate Civil Engineering - Academic Department of Civil Construction, Federal Technological University of Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2014.

Knowing the importance of having knowledge of the subsoil geotechnical characteristics in order to start an engineering project, from small to large ones, this work was performed aiming to characterize the subsoil of an area of 14.7km², located in the central urban area of the town of Pato Branco - PR. The characterization began by collecting geotechnical data from the information present in probing reports of simple recognition with Standard Penetration Test (SPT). Making use of a base map of the region the estimated data were georeferenced from the Autocad software with reference of UTM coordinates, and treated by a database developed in the working interface of Excel software. The results of the spatial data analysis were displayed as thematic digital maps with features present in soil classification which is contained in NBR 7250/2004 for the identification and description of soil samples obtained through surveys of simple soil recognition. The study allowed an easier visualization of the subsoil characteristics, where it is possible to realize how essential its knowledge is, due to several changes in its characteristic within a small portion of area.

Key words: Characterization of the subsurface. SPT. Database. Digital thematic maps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas do solo	14
Figura 2 - Carta de plasticidade proposta por Casagrande (1948).....	17
Figura 3 – Esquema ilustrativo da aparelhagem de execução do SPT.....	21
Figura 4 – Trépano com circulação de água.....	23
Figura 5 – Amostrador tipo Raymond.....	23
Figura 6 – Pontos da malha de predição.....	26
Figura 7 - Localização da área de estudo.....	28
Figura 8 – Solos Bacia do Rio Ligeiro.....	30
Figura 9 - Metodologia.....	31
Figura 10 – Exemplo de relatório de sondagem.....	33
Figura 11 - Georreferenciamento dos furos dos relatórios de sondagem.....	34
Figura 12 - Planilha principal dos dados.....	35
Figura 13 – Inverso Ponderado da Distância aplicado ao território de Pato Branco – PR, à direita aplicação do expoente “4” e a esquerda expoente “2”.....	37
Figura 14 – Mapa de locação dos furos e delimitação da área de estudo.....	39
Figura 15 – Mapa de ocorrência de argila muito mole a 2m de profundidade.....	41
Figura 16 – Mapa de ocorrência de argila mole a 2m de profundidade.....	42
Figura 16 – Mapa de ocorrência de argila mole a 2m de profundidade.....	42
Figura 17 – Mapa de ocorrência de argila média a 2m de profundidade.....	43
Figura 18 – Mapa dos tipos de solos a 2m de profundidade.....	44
Figura 19 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 2m de profundidade...	45
Figura 20 – Percentagem de furos com presença de água a 2m de profundidade...	45
Figura 21 – Mapa de ocorrência de argila muito mole a 4m de profundidade.....	47
Figura 22 – Mapa de ocorrência de argila mole a 4m de profundidade.....	48
Figura 23 – Mapa de ocorrência de argila média a 4m de profundidade.....	49
Figura 24 – Mapa de ocorrência de argila rija a 4m de profundidade.....	50
Figura 25 – Mapa dos tipos de solos a 4m de profundidade.....	51
Figura 26 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 4m de profundidade...	52
Figura 27 – Percentagem de furos com presença de água a 4m de profundidade...	52
Figura 28 – Mapa de ocorrência de argila muito mole a 8m de profundidade.....	54
Figura 29 – Mapa de ocorrência de argila mole a 8m de profundidade.....	55
Figura 30 – Mapa de ocorrência de argila média a 8m de profundidade.....	56
Figura 31 – Mapa de ocorrência de argila rija a 8m de profundidade.....	57
Figura 32 – Mapa de ocorrência de argila dura a 8m de profundidade.....	58
Figura 33 – Mapa dos tipos de solos a 8m de profundidade.....	59
Figura 34 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 8m de profundidade...	60
Figura 35 – Percentagem de furos com presença de água a 8m de profundidade...	60
Figura 36 – Mapa dos tipos de solos a 16m de profundidade.....	62
Figura 37 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 16m de profundidade.	63
Figura 38 – Percentagem de furos com presença de água a 16m de profundidade.	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS	11
1.1.1	Objetivos específicos.....	11
1.2	JUSTIFICATIVA.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	SOLO.....	13
2.2	SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO	14
2.2.1	Sistema Unificado de Classificação.....	15
2.2.2	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)	18
2.2.3	Identificação do solo por meio de Sondagem de Simples Reconhecimento	18
2.3	SONDAGEM SPT.....	20
2.3.1	Execução.....	20
2.4	ANÁLISE ESPACIAL	24
2.4.1	Algoritmos de interpolação	25
2.4.2	Inverso ponderado da distância.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	28
3.1.1	Aspectos climáticos	29
3.1.2	Aspectos físicos e geotécnicos.....	29
3.2	ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO.....	31
3.3	DADOS GEOTÉCNICOS	31
3.4	GEORREFERENCIAMENTO	34
3.5	BANCO DE DADOS	35
3.6	SISTEMA UTILIZADO PARA ANÁLISE ESPACIAL	36
3.6.1	Método de Interpolação	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	LOCAÇÃO DOS FUROS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	38
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO SUBSOLO	40
4.2.1	Caracterização do subsolo a 2 metros de profundidade.....	40
4.2.1.1	Análise do solo a 2 metros de profundidade.....	45
4.2.2	Caracterização do subsolo a 4 metros de profundidade.....	46
4.2.2.1	Análise do solo a 4 metros de profundidade.....	52
4.2.3	Caracterização do subsolo a 8 metros de profundidade.....	53
4.2.3.1	Análise do solo a 8 metros de profundidade.....	60
4.2.4	Caracterização do subsolo a 16 metros de profundidade.....	61
4.2.4.1	Análise do solo a 16 metros de profundidade.....	63
4.2.5	Análise geral da área de estudo	64
5	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A sondagem com realização do ensaio SPT (*Standart Penetration Test*) representa o tipo de investigação geotécnica mais corriqueira no Brasil. Através dessa sondagem é possível verificar a natureza do solo, a espessura de cada camada e sua respectiva resistência, além de informar sobre a ocorrência de água no subsolo (HACHICH et al., 1998).

Dessa forma, as informações obtidas com o ensaio SPT atuam como subsídio fundamental ao planejamento, projeto e execução de obras de fundações, uma vez que permitem a obtenção de parâmetros necessários às etapas de cálculo, análise e monitoramento das mesmas (SOARES, 2011).

Além de serem necessárias para a escolha e dimensionamento de fundações, as informações obtidas através das sondagens podem ser utilizadas no planejamento urbano, gerenciamento ambiental, estruturas de contenção, estabilidade de taludes, entre outras.

Por esse motivo, atualmente estudos vem sendo desenvolvidos sobre a utilização de dados de relatórios de sondagem para um mapeamento das condições do subsolo, tanto para determinar o uso e ocupação do solo, como para avaliar a viabilidade de um empreendimento com base no solo das regiões.

De acordo com Silva (2008) a espacialização do comportamento geomecânico do solo só é possível pela análise espacial, onde ocorre a locação, gerenciamento e apresentação das informações georreferenciadas, oferecendo condições de se estimar o comportamento dos atributos entre pontos não amostrados.

De acordo com Soares (2011), para a confecção de mapas digitais temáticos (MDT), é cientificamente e tecnicamente viável a utilização dos métodos de interpolação disponíveis nos programas de análise espacial para estimar as variáveis geotécnicas espaciais obtidas em furos de sondagem à percussão em pontos não amostrados.

Desse modo, esse estudo propõe-se a caracterizar o subsolo da área urbana da cidade de Pato Branco-PR através da estruturação de um banco de dados georreferenciados e confecção de mapas temáticos com a utilização de software de análise espacial, sendo as variáveis espaciais de natureza geológico geotécnica

obtidas pelos relatórios de sondagem já realizados ao longo dos últimos 20 pela empresa Rambo Sondagens de investigação geotécnica da cidade.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho consiste em caracterizar o subsolo da área urbana de Pato Branco-PR, baseando-se do estudo de relatórios de sondagens já existentes e ensaios complementares.

1.1.1 Objetivos específicos

Para esse estudo estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar levantamento dos relatórios de sondagem existentes;
- Desenvolver banco de dados georreferenciados a partir dos dados presentes nos relatórios de sondagem;
- Gerar mapas temáticos utilizando ferramentas de análise espacial.

1.2 JUSTIFICATIVA

O conhecimento das características do subsolo é necessário para o desenvolvimento de projetos de obras civis de forma econômica e segura. O subsolo pode ser considerado, em certos casos, como fator determinante da viabilidade de um empreendimento, visto que, de acordo com as características do solo, alguns tipos de fundações podem se tornar mais caras em relação ao restante da obra.

Informações acerca das condições do subsolo podem ser utilizadas pelos órgãos públicos no planejamento urbano, pois é através de suas características físico-ambientais que se pode dar a destinação adequada a cada território.

Devido a sua facilidade e baixo custo, a sondagem SPT é o método de investigação do subsolo mais utilizado no Brasil. Este é um método direto que tem por finalidade definir a capacidade de carga de fundações bem como efetuar estimativas de recalques (FOLLE, 2002).

Desta forma, neste estudo propõem-se a caracterização do subsolo da área urbana de Pato Branco-PR através da geração de um banco de dados georreferenciado dos relatórios de sondagem, baseado em relatórios de sondagem, além do desenvolvimento de mapas temáticos. Os resultados serão expressos com auxílio de *software* de análise espacial.

Essas informações geotécnicas obtidas servirão como uma ferramenta de auxílio no planejamento do uso e ocupação do solo, em especial nos processos de expansão urbana e sua interação com o meio, para a comunidade de Pato Branco-PR, além de ser subsídio para muitas propostas de pesquisa do meio acadêmico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SOLO

Todos os solos originam-se da decomposição, decorrente de agentes físicos e químicos, de rochas. Variações de temperatura, por exemplo, podem provocar trincas nas rochas, acarretando na penetração de água que ataca quimicamente os minerais. O congelamento da água nas trincas pode exercer elevadas pressões, provocando maior fragmentação dos blocos. A presença da fauna e flora promove o ataque químico, através de hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação, entre outros. O conjunto desses processos, que são mais atuantes em climas quentes, leva a formação dos solos, que apresentam uma mistura de partículas que se diferenciam em tamanho e composição química (PINTO, 2006).

Esses processos que levam a formação do solo podem ser classificados em processos intempéricos e processos pedogenéticos.

O processo do intemperismo se dá em duas fases: física e química. Os agentes físicos causam a fragmentação das rochas e englobam as variações de temperatura, a ação do gelo e dos ventos. Já os agentes químicos ocasionam o processo de decomposição das rochas, que ocorre principalmente pela ação da água da chuva (SILVA, 2008).

O processo pedogenético consiste na alteração da camada mais superficial do solo, que pode ocorrer devido à adição, perda, transformação e transporte de material (SILVA, 2008). Os principais processos pedogenéticos são os de eluviação (perda) e iluviação (adição), tendo-se como exemplos a lixiviação (remoção de sais solúveis) e a laterização (concentração de ferro) conforme relata Vaz (2003, apud SILVA, 2008).



Figura 1 - Camadas do solo

Fonte: Autores (2014)

Dessa forma, devido aos diversos fatores ambientais os solos podem se apresentar de maneira muito variada. Além disso, é possível, em cortes verticais do solo, observar a ocorrência de diversas camadas, formadas inicialmente em sua superfície por solos orgânicos, e posteriormente por solos residuais (LEPSCH, 2010), conforme pode ser observado na Figura 1.

2.2 SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO GEOTÉCNICA DO SOLO

De acordo com Hachich et al. (1998) a diversidade de solos e a enorme diferença de comportamento frente as solicitações de interesse na engenharia, levou ao agrupamento natural dos solos pela semelhança de propriedades.

Um dos sistemas de classificação baseado na composição dos solos mais empregado no Brasil e no mundo é o chamado Sistema Unificado de Classificação (USCS), proposto por Casagrande (1948) e descrito pela norma americana D2488-69 (ASTM,1980) (SANTOS, 2006).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) é o sistema taxonômico oficial de classificação de solos do Brasil, segundo a EMBRAPA (2013)

a classificação nacional vigente consiste numa evolução do antigo sistema americano.

Além do USCS e do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, têm-se na NBR 7250/2004 condições para a identificação e formulação da nomenclatura dos solos através da realização de sondagem de simples reconhecimento.

Dessa forma, esse item tem intuito de apresentar os princípios de classificação desses métodos.

2.2.1 Sistema Unificado de Classificação

Nesse sistema de classificação o principal ponto a ser considerado é a quantidade de material passante na peneira n. 200 (0,075 mm), se uma quantidade maior do que 50% passar têm-se um solo fino, caso contrário, solo granular (SANTOS, 2006).

Os solos granulares podem ser definidos como pedregulhos ou areia, conforme a fração granulométrica predominante. Feita essa distinção, é necessário conhecer as características secundárias do material para entender melhor seu comportamento mecânico (HACHICH et al. ,1998).

Se a quantidade de finos for reduzida (inferior a 5%), deve ser dada atenção à distribuição granulométrica. Quando as partículas são do mesmo diâmetro, ou pouco difere em tamanho, os solos são considerados como mal graduados. Nesses casos ocorre um entrosamento entre as partículas muito pobre. Um solo bem graduado é composto por partículas em quantidades tais que cada tamanho de vazio formado pelas maiores é preenchido pelas partículas menores (HACHICH et al. ,1998).

Além disso, o formato dos grãos de areia tem muita importância no seu comportamento mecânico, pois determina como as partículas se encaixam e como deslizam quando solicitadas por carregamentos externos. Entretanto, devido a dificuldade de se observar o aspecto superficial do solo, pouca relevância é dada a esse aspecto na classificação (HACHICH et al. ,1998).

A areia pode ainda ser classificada pelo seu índice de Compacidade Relativa, sugerido por Terzaghi (1948). Esse índice relaciona o índice de vazios

natural aos índices de vazios máximos e mínimo que a areia pode ser encontrada. O índice de vazios máximo pode ser entendido imaginando-se o estado da areia ao ser despejada em um recipiente, ela ficará no seu estado mais fofo. Já o índice de vazios mínimo corresponde ao estado que essa mesma areia ficaria ao vibrar-se esse recipiente. Com base nesse índice têm-se a classificação em: muito fofas, fofas, compactidade média, compactas e muito compactas. Os limites utilizados para essa classificação variam de acordo com o autor, sendo comum a classificação em apenas três classes (HACHICH et al. ,1998).

Entretanto, quando esses solos granulares apresentarem uma quantidade de finos superior a 12% a distribuição granulométrica deixa de ser a característica secundária mais importante. O comportamento será influenciado pela presença desses finos, que ocupando os espaços vazios, conferem a areia uma certa consistência. Nesses casos o solo é classificado como areia siltosa ou areia argilosa (SANTOS, 2006).

O estado dos solos granulares com finos é referido também pela sua compactidade. Entretanto, a compactidade é identificada através de seu comportamento mecânico, constatado através de ensaios que podem estimá-lo através do manuseio ou associado ao número N determinado no SPT (HACHICH et al. ,1998).

Para os *solos finos*, no Sistema Unificado, não se leva em conta as frações de silte e argilas definidas pela análise granulométrica. Esses solos são diferenciados pelo seu comportamento na presença de água, empregando-se para essa finalidade os limites de Atterberg (limite de liquidez e índice de plasticidade) (HACHICH et al. ,1998).

Com base em sua experiência em solos temperados, Casagrande sugeriu no Sistema Unificado que os solos fossem classificados conforme o posicionamento dos valores do Índice de Plasticidade (IP) e do Limite de Liquidez (IL) na Carta de Plasticidade apresentada na Figura 2. Os solos argilosos (C) geralmente apresentam índices acima da linha e os solos siltosos (M) e os orgânicos (O) abaixo. Como característica secundária, Casagrande propõe se caracterizar os solos em baixa compressibilidade (L), quando $LL < 50$, e de alta compressibilidade (H) quando $LL > 50$ (HACHICH et al. ,1998).

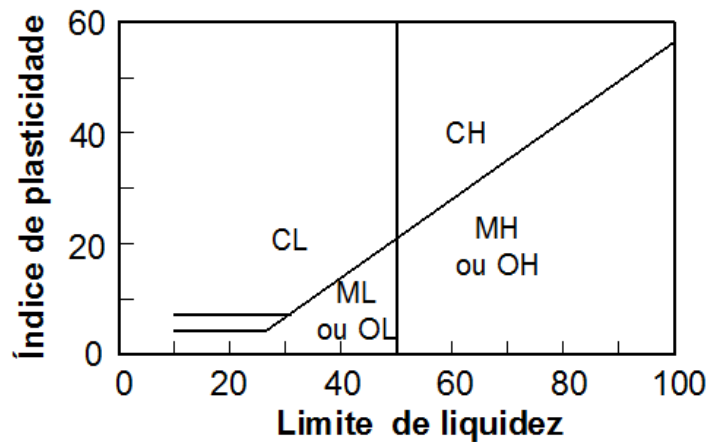


Figura 2 - Carta de plasticidade proposta por Casagrande (1948).

Fonte: Adaptado de Hachich et al. (1998)

Entretanto, de acordo com Hachich et al. (1998) a aplicabilidade da carta de plasticidade no Brasil não têm se mostrado adequada, visto que experiências demonstraram que solos, que possuíam características tácteis e visuais que deixavam clara sua composição, foram classificados erroneamente pelo Sistema Unificado de Classificação.

O estado dos solos siltosos é indicado pela compactidade, valendo os critérios para as areias com finos. O estado das argilas é indicado pela sua consistência, definida por Terzaghi e Peck (1948) como a resistência a compressão simples, de acordo com a Tabela 1 (HACHICH et al. ,1998).

Tabela 1 - Classificação da consistência das argilas.

CONSISTÊNCIA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES, kPa
Muito mole	<25
Mole	25-50
Consistência média	50-100
Rija	100-200
Muito rija	200-400
Dura	>400

Fonte: Adaptado de Hachich et al. (1998)

Entretanto, a resistência das argilas depende do arranjo entre os grãos e o índice de vazios em que se encontra. Então, remoldando e saturando o solo, a resistência pode ser relacionada diretamente com a umidade. Para comparar solos

distintos deve-se empregar uma expressão que reflète a umidade relativa, que é a umidade em que o solo se encontra em relação a duas umidades de referência: o limite de liquidez e o limite de plasticidade (HACHICH et al. ,1998).

2.2.2 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)

Esta classificação de solo é alcançada a partir da avaliação dos dados morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do perfil que o representa. Também são utilizados aspectos ambientais do local do perfil, tais como relevo, clima, vegetação, condições hídricas, material originário, características externas ao solo e relações solo-paisagem (EMBRAPA et al, 2006).

A classificação de um solo de acordo com o SiBCS tem início no momento da coleta do material no campo e na descrição morfológica do perfil, que segundo a EMBRAPA (2006) devem ser conduzidas conforme critérios delimitados nos manuais (Lemos & Santos, 1996; Santos et al., 2005; IBGE, 2005), ressaltando-se o máximo de zelo, critério e paciência na descrição da paisagem e do perfil.

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos é dividido em 13 ordens diferentes de solos, de acordo com a EMBRAPA (2006) os solos são denominados conforme segue:

- | | |
|-----------------|------------------|
| 1) Argissolo; | 8) Neossolo; |
| 2) Cambissolo; | 9) Nitossolo; |
| 3) Chernossolo; | 10) Organossolo; |
| 4) Espodossolo; | 11) Planossolo; |
| 5) Gleissolo; | 12) Plintossolo; |
| 6) Latossolo; | 13) Vertissolo. |
| 7) Luvisolo; | |

Para o SiBCS essas classes são divididas em seis níveis categóricos, sendo eles: 1º nível (ordem), 2º nível (subordem), 3º nível (grande grupo), 4º nível (subgrupo), 5º nível (família) e 6º nível (série).

2.2.3 Identificação do solo por meio de Sondagem de Simples Reconhecimento

Os solos na natureza são quase sempre compostos pela mistura em proporções variadas de argila, silte, areia e pedregulho. Nesse item será apresentada a classificação dessas composições de acordo com a NBR 7250/2004 de Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos.

A classificação das amostras deve iniciar pela identificação granulometria, procurando classificá-las em duas grandes divisões: solos grossos e solos finos.

São classificados como solos grossos (areias e pedregulhos) quando mais de metade dos grãos são visíveis a olho nu e ásperos ao tato. Já os solos finos (argilas e os siltes), recebem essa classificação quando formados por mais do que a metade das partículas que não são visíveis a olho nu.

Os solos grossos devem ser ainda classificados em pedregulhos, quando existe predominância de grãos maiores do que 2 mm, ou em areias, quando os grãos forem inferiores a 2 mm e superiores a 0,1 mm.

Para a diferenciação entre areia fina e silte a NBR 7250/2004 sugere o ensaio expedito denominado dilatância ou sacudidela. Nesse ensaio, coloca-se na palma da mão uma porção de solo úmido, porém não pegajoso, e em seguida vibra-se a mão rápida e horizontalmente. Se durante a vibração a amostra torna-se brilhante pelo surgimento de água na superfície, e quando comprimida torna-se rígida e quebradiça trata-se de uma areia fina ou silte. Quando a reação é rápida e bem acentuada, trata-se de uma areia fina, quando essas reações são mais lentas trata-se de um silte arenoso ou silte com baixa plasticidade.

Para a divisão entre silte e areia podem-se seguir os seguintes critérios:

- Os siltes quando secos ao ar formam torrões facilmente desagregáveis;
- As argilas quando secos ao ar formam torrões que não são facilmente desagregáveis;
- As argilas quando umedecidas são plásticas, podendo ser trabalhadas com os dedos e sofrer deformações, tomando diferentes formas sem apresentar superfícies de ruptura ou fissuramento.

Existem ainda os solos orgânicos, que são os que possuem significativa quantidade de matéria orgânica e apresentam cores escuras.

Essa classificação do solo pode ser adjetivada com a fração de solo que puder ser também identificada pelos critérios definidos. A nomenclatura das amostras dos solos não deve ser composta por mais do que duas frações de solo, como, por exemplo, argila silto-arenosa. Sendo que o primeiro nome correspondente à fração que apresenta maior quantidade.

Admite-se, nomenclatura composta por mais de duas frações, quando ocorrer à existência de pedregulhos, como, por exemplo, silte arenoso, com pedregulho, ou quando se dispuser especificamente de ensaios laboratoriais de classificação.

Com base nos resultados nos ensaios penetrométricos (SPT), efetuados de acordo com a norma NBR 6484/2004, os solos podem ainda ser classificados pela sua compactidade, no caso de solos grossos, e por sua consistência, no caso de solos finos. Os siltes arenosos devem ser classificados pela compactidade e os siltes argilosos pela consistência. Essa classificação pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação quanto ao índice de Compactidade e de Consistência.

SOLO	ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO	DESIGNAÇÃO
Areia e silte arenoso	≤ 4 5 a 8 9 a 18 19 a 40 > 4	Fofa (o) Pouco compacta (o) Mediamente compacta (o) Compacta (o) Muito compacta (o)
Argila e silte argiloso	≤ 2 3 a 5 6 a 10 11 a 19 > 19	Muito mole Mole Média (o) Rija (o) Dura (o)

Fonte: ABNT NBR 6484/2004.

2.3 SONDAGEM SPT

A sondagem de simples reconhecimento (SPT) iniciou-se no ano de 1902, quando o engenheiro Charles R. Gow, com intuito de melhorar o processo de reconhecimento do solo, que até então era realizado por poços e processos de circulação de água, introduziu o método de amostragem a seco. Ele desenvolveu um amostrador com 25,4mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, com ponta biselada. Esse amostrador era cravado no solo com o auxílio de um peso de 50 kg (FOLLE, 2002).

Em 1927, a Raymond Concrete Pile Co., juntamente com a The Gow Co desenvolveram um amostrador do tipo bipartido, composto por três partes (cabeça, corpo e sapata biselada), com diâmetro externo de 51 mm e diâmetro interno de 31 mm (FOLLE, 2002). Em 1930, H. A. Mohr, da The Gow Co., introduziu a técnica do peso de bater de 63,5 Kg caindo em queda livre de 76,2 cm, com o critério de cravação inicial de 15 cm e de contagem do número de golpes para a cravação dos 30 cm restantes, como nos dias atuais (TEIXEIRA 1977 apud FOLLE,2002).

No Brasil o ensaio foi introduzido na década de 30 pela Seção de Solos e Fundações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT – SÃO PAULO), o qual utilizava o seu próprio modelo de amostrador (SILVA, 2008).

De acordo com Soares (2011) o ensaio SPT foi normalizado em 1958 pela ASTM, entretanto, é comum o uso de procedimentos e equipamentos do padrão internacional (IRTP/ISSMFE). O Brasil tem sua própria normalização, sendo a norma mais recente que padroniza os equipamentos e procedimentos a NBR 6484/2004.

2.3.1 Execução

O Standard Penetration Test (SPT), é reconhecido como o mais popular, rotineiro e econômico ensaio de investigação, sendo que a sua simplicidade de execução e baixo custo associado são os principais atrativos para sua utilização (SCHNAID, 2000). Entretanto, para que se tenham resultados confiáveis é

necessário que o ensaio siga a padronização de equipamentos e execução apresentada na NBR 6484/2004.

Conforme a NBR 6484/2004, os equipamentos utilizados para a execução de sondagens de simples reconhecimento com SPT são: torre com roldana, tubos de revestimento, composição de perfuração, trado-concha, trado helicoidal, trépano de lavagem, amostrador padrão, cabeças de bateria, martelo padronizado para cravação, baldinho para esgotar o furo, medidor de nível de água, metro de balcão, recipiente para amostra, bomba de água centrífuga motorizada, caixa de água com divisória interna para decantação e ferramentas gerais necessárias à operação da aparelhagem. Pode-se observar na Figura 3 um esquema da aparelhagem utilizada para o ensaio.

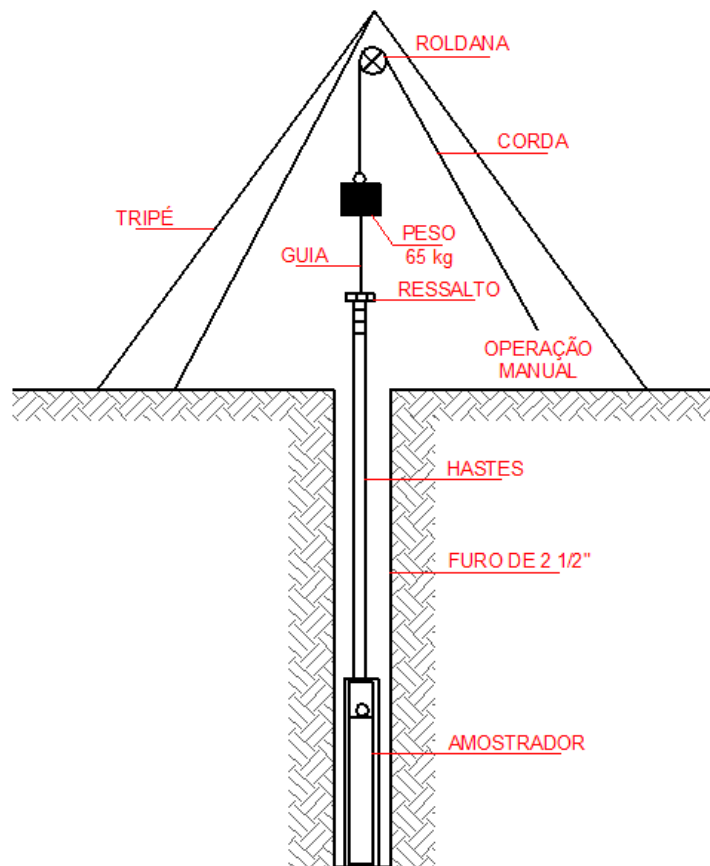


Figura 3 – Esquema ilustrativo da aparelhagem de execução do SPT.

Fonte: Adaptado de Schnaid et al. (2000)

De acordo com Belincanta et al. (2010 apud Lukiantchuki, 2012) o equipamento básico para a execução do ensaio consiste em:

- Torre de sondagem ou tripé de sondagem: formada por quatro tubos de aço com 5 metros de comprimento. Possui dispositivo para montagem das hastes, dos tubos de revestimento e para o acionamento do martelo.
- Composições para perfuração e cravação: formada por uma composição de hastes, com $D_{ext}= 33,4 \pm 2,5$ mm, $D_{int}= 24,3 \pm 2,5$ mm, massa linear de 3,23 Kg/m e comprimentos de 1 e 2 m. As hastes possuem extremidades roscadas, e são acopladas entre si por luvas.
- Tubos de revestimento: formados por tubos de aço com $D_{ext}= 76,1 \pm 5$ mm, $D_{int}= 68,8 \pm 5$ mm, e com comprimentos de 1 ou 2m, que podem ser emendados por luvas e roscas.
- Trado helicoidal: utilizado para a abertura de furos de sondagem, deve possuir diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro interno do tubo de revestimento.
- Trépano: peça de aço biselada que possui duas saídas laterais para água, sendo que a largura da lâmina de aço deve possuir um folga de 3 a 5 mm em relação ao diâmetro interno dos tubos de revestimento;
- Sistema de circulação de água: constituído por bomba hidráulica, caixa de decantação e mangueiras de engate rápido. A utilização do trépano com o sistema de circulação de água pode ser observada na Figura 4.
- Amostrador Raymond: é constituído por três partes: cabeça, corpo e sapata, conforme Figura 5. O corpo é formado por tubo bipartido com $D_{ext}= 50,8 \pm 2$ mm, $D_{int}= 34,9 \pm 2,0$ mm e comprimento de 609,6 mm. A cabeça é formada por dois cilindros laterais para saída de ar e água, e a sapata deve ser confeccionada com aço temperado para suportar os esforços aos quais é submetida.
- Cabeça de bater: constituída por tarugo de aço com diâmetro de 83 ± 5 mm, altura de 90 ± 5 mm e massa nominal entre 3,5 e 4,5 kg.
- Martelo padronizado: constituído por uma massa de 65 kg, podendo ser maciço ou vazado e em formato cilíndrico ou prismático. Os martelos maciços possuem haste-guia de 1,2m ao longo de seu eixo de

simetria longitudinal. Além disso, devem possuir um coxim de madeira dura embutida na sua face interior, para proteger o martelo e melhorar o contato entre as seções no impacto.



Figura 4 – Trépano com circulação de água.
Fonte: Belicanta (2004 apud SILVA 2008)

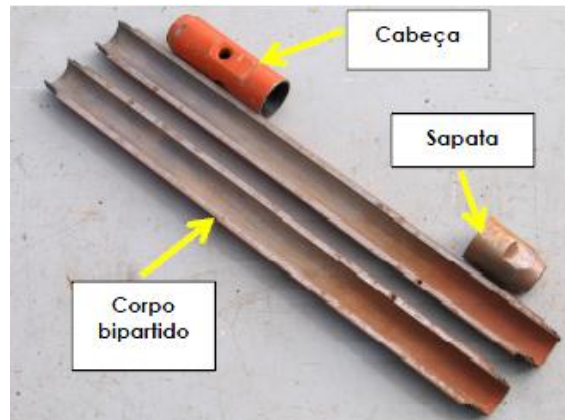


Figura 5 – Amostrador tipo Raymond.
Fonte: Lukiantchuki (2012)

De acordo com a NBR 6484/2004, após a locação dos pontos de sondagem, o ensaio inicia-se com a escavação do primeiro metro com auxílio de um trado concha. A cada metro de perfuração, a partir desse primeiro metro de profundidade, devem ser colhidas amostras por meio do amostrador-padrão com a execução do SPT. O ensaio SPT, consiste na cravação de 45 cm do amostrador padrão através de impactos sucessivos do martelo caindo livremente de 75 cm de altura. Anota-se a quantidade de golpes necessários para a cravação de cada 15 cm. O índice de

resistência a penetração é considerado como a soma do número de golpes requeridos para a segunda e terceira etapa de penetração de 15 cm.

Segundo a NBR 6484/2004, as escavações após o primeiro metro, intercaladas aos ensaios de amostragem, devem ser realizadas com auxílio de trado helicoidal até se atingir o nível d'água freático. Quando o avanço da perfuração com emprego de trado for inferior a 50mm após 10 min, ou no caso de solo não aderente ao trado (na presença do lençol freático, por exemplo), deve-se utilizar o método de perfuração por circulação de água com auxílio do trépano. Durante a operação do sistema de circulação de água, caso a parede do furo se mostre instável, é obrigatória a utilização de tubo de revestimento. Quando é necessária a garantia da limpeza do furo e da estabilização do solo pode-se utilizar além do tubo, lama de estabilização.

A cravação do amostrador padrão, de acordo com a NBR 6484/2004, é interrompida antes dos 45 cm em qualquer uma das seguintes situações: em qualquer um dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassarem 30; um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a cravação; e não se observar avanço do amostrador durante a aplicação de 5 golpes sucessivos.

2.4 ANÁLISE ESPACIAL

A análise espacial envolve a distribuição de dados provenientes de fenômenos ocorridos no espaço, podendo ser aplicado em diversas áreas do conhecimento, seja na geologia, agronomia, saúde, entre outras tantas. Tem como ênfase mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo (CÂMARA et al. 2001).

Através do uso de softwares capacitados para análise espacial é possível manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta. Possibilita a manipulação de mapas, consulta de informações espaciais dentro de áreas de interesse e a produção de breves sumários estatísticos dessa informação, buscando, assim, um melhor entendimento fenômeno analisado (ROCHA et al. 2004).

De acordo com Rosa (2011) para realizar uma análise espacial, se faz necessário possuir informações sobre a qual se vai trabalhar, estas podem aparecer de várias formas e sob vários formatos, abrangendo textos, números, gráficos, imagens, onde os mesmos devem ainda estarem associados a uma localização geográfica.

O autor acrescenta ainda que a produção de informação requer coleta de dados e a qualidade dos mesmos vai determinar direta ou indiretamente a qualidade do resultado final do trabalho. A qualidade dos dados pode ser avaliada pela sua precisão e exatidão, tendo em vista que os dados nunca serão cem por cento precisos nem exatos, mas os seus níveis de precisão e exatidão devem ser os maiores possíveis, para que ocorra o menor erro possível.

Segundo Silva (2008) os bancos de dados são os responsáveis pelo armazenamento de forma organizada e a recuperação de informações quando necessárias, possibilitando buscas lógicas e sua representação visual em plantas, mapas etc.

De acordo com Landim (2002) para a confecção de mapas a partir de um banco de dados em programas que utilizem métodos computacionais, é necessário que as coordenadas (X,Y,Z) estejam dispostas em uma malha regular. Dessa forma, como a maioria dos bancos de dados forma malhas irregulares, os mesmos deverão ser regularizados segundo os diversos algoritmos de interpolação que constam nos programas a serem utilizados. Então, a partir das coordenadas dos pontos da malha e dos valores assumidos por cada variável, pode-se obter um mapa da distribuição espacial, utilizando-se um algoritmo de interpolação apresentado no *software*.

2.4.1 Algoritmos de interpolação

O princípio dos algoritmos de interpolação é baseado no cálculo dos pesos referentes aos pontos amostrados na predição, sendo a diferença entre eles a maneira de atribuir tais pesos. Podem-se observar na Figura 6, as cruces, que representam os pontos da malha de predição e as curvas que representam a interpolação dos valores (LANDIM et al. 2002).

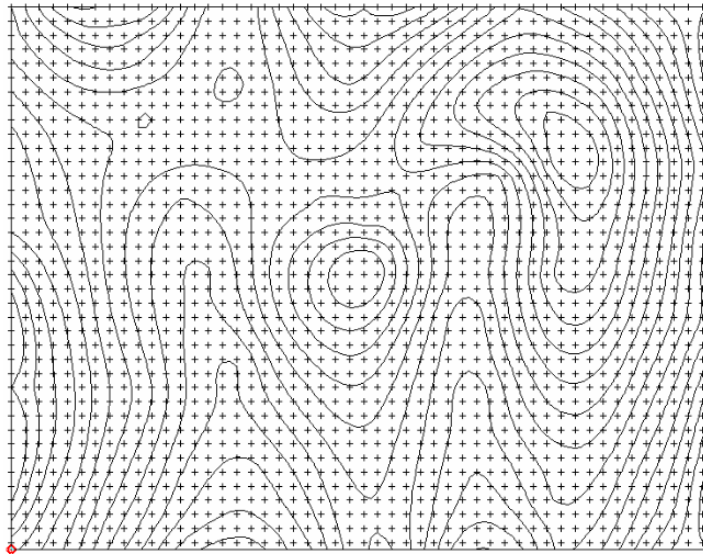


Figura 6 – Pontos da malha de predição.

Fonte: Landim (2002)

Para um mapa com resultados mais realísticos, deve-se fazer a escolha de um algoritmo de interpolação que melhor se adapte às variáveis em questão. Para a interpolação de fenômenos naturais, como no caso da sondagem desse estudo, utilizam-se métodos geoestatísticos. Para Folle (2002) a geoestatística trata as variáveis como regionalizadas, enfatizando as relações espaciais existentes entre as amostras a partir das quais se realizam as avaliações, além de quantificar erros cometidos nessas avaliações.

Um método de interpolação bem conhecido e discutido é o inverso ponderado da distância. Segundo Landim (2002), o inverso ponderado da distância é de fácil entendimento matemático, e está disponível em muitos *softwares*, sendo razoavelmente fiel aos valores amostrados.

2.4.2 Inverso ponderado da distância

De acordo com Miranda (2005), o inverso ponderado da distância estima um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dentro de uma vizinhança. O cálculo do nó a ser estimado é ponderado pela distância entre pontos vizinhos amostrados.

Destaca-se que o algoritmo deste método eleva a variável da distância a qualquer expoente (escolhido pelo manipulador), implicando na influência do peso da distância, onde quanto maior o expoente, maior será a influência. Outra observação é que este método possui uma tendência de apresentar contornos formados por círculos, devido ao caráter estatístico do método, de forma que a influência de cada ponto tende a ter um raio de ação. (DIAS et al. 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área em estudo está localizada no interior da Bacia do Rio Ligeiro na parte urbana do município de Pato Branco, situada na região sudoeste do Estado do Paraná, a uma distância de 433,53 km da capital do estado (Curitiba). Segundo o censo demográfico realizado pelo IBGE em 2010 a população atual do município está estimada em 72.370 habitantes, distribuídos numa área de 539,087 km².

Conforme ilustrado na Figura 7, a área está delimitada por um retângulo formado pelas coordenadas no Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM).

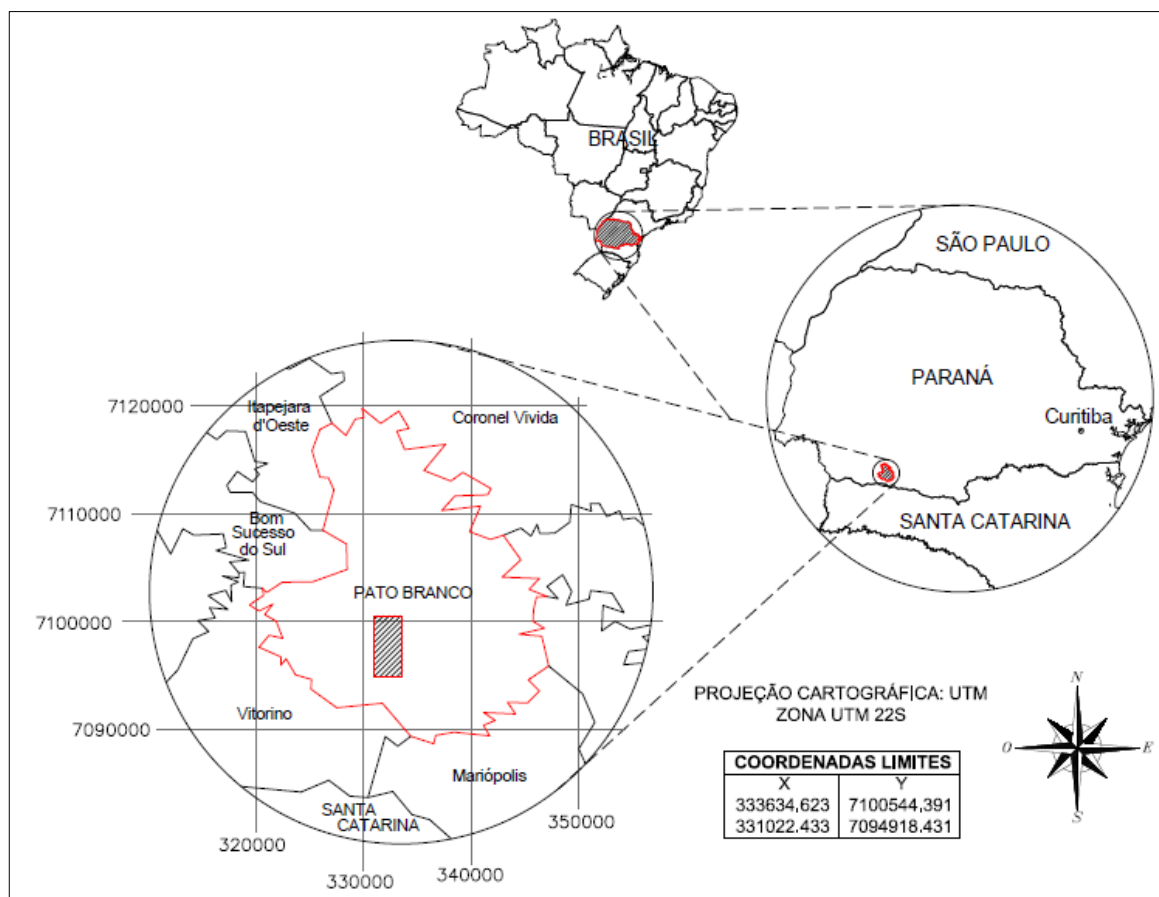


Figura 7 - Localização da área de estudo.

Fonte: Autores (2014)

3.1.1 Aspectos climáticos

De acordo com dados obtidos da prefeitura municipal de Pato Branco – PR o município é caracterizado por ter um clima subtropical úmido mesotérmico, com presença de estações térmicas bem divididas, com verões quentes e chuvosos e invernos com temperaturas baixas.

Segundo Tabalipa (2008) o município possui chuvas bem distribuídas ao longo de todo ano, com média de precipitação anual para o período de 1979 a 2005 de 2109,79 mm/ano, sendo outubro o mês com maior índice pluviométrico, e agosto o mês menos chuvoso.

3.1.2 Aspectos físicos e geotécnicos

De acordo com Tabalipa (2002) a região localiza-se no Terceiro Planalto do Paranaense, com uma topografia de aspecto Tabuliforme, com regiões onduladas, chapadas e encostas mais suaves. O autor cita ainda que as características da região são oriundas de grandes derrames de lavas basálticas.

A área de estudo situa-se ao longo da Bacia do Rio Ligeiro, que é constituída por solos classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos conforme a Figura 8. Onde o latossolo é o tipo de solo predominante, que segundo ao SiCBS caracterizam-se por possuir cores mais vivas e horizontes muito argilosos.

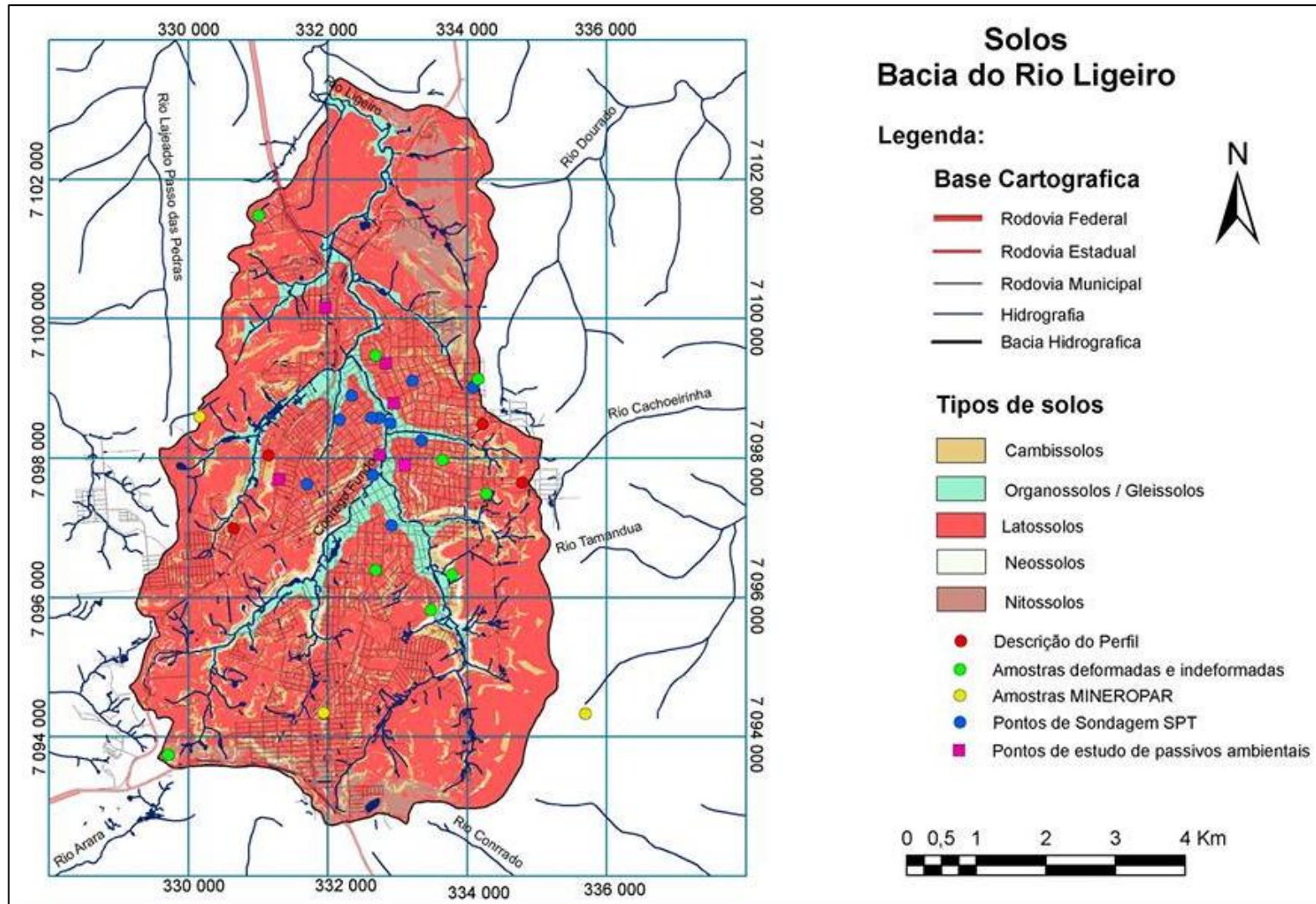


Figura 8 – Solos Bacia do Rio Ligeiro.

Fonte: EMBRAPA & IAPAR – Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudoeste do Paraná (1974)

3.2 ESTRUTURAÇÃO DO ESTUDO

A estruturação deste estudo partiu da preparação da pesquisa, envolvendo a realização de uma revisão bibliográfica preliminar, definição do tema, delimitação dos objetivos e da área de estudo.

Os mapas digitais temáticos finais que representam a caracterização do subsolo da área urbana de Pato Branco foram desenvolvidos conforme o esquema da metodologia de trabalho apresentado no fluxograma da Figura 9.

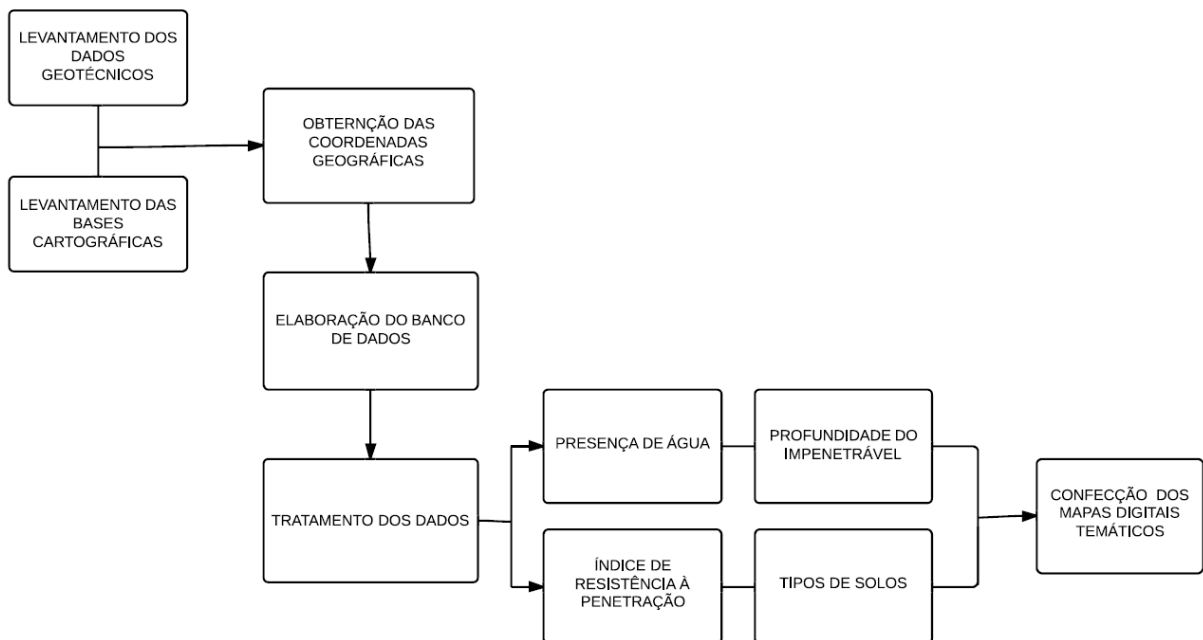


Figura 9 - Metodologia.
Fonte: Autores (2014)

3.3 DADOS GEOTÉCNICOS

Os dados geotécnicos utilizados na forma de relatórios de sondagem foram realizados por empresa de sondagem que atuou vários anos na cidade de Pato Branco, cujo responsável técnico no período era o Professor e Engenheiro Civil S. T. Rambo. Ao todo foram aproveitados 68 (sessenta e oito) relatórios de sondagens de

simples reconhecimento SPT, nos quais constavam o endereço da obra para a qual estava sendo realizado o relatório e a locação dos furos apresentada em um croqui do terreno.

Os furos de cada relatório de sondagem foram analisados de modo a estabelecer o mais coerente com a média entre os demais furos e eliminar os restantes. Tal prática foi adotada para que não ocorresse nos mapas finais do estudo a existência de pequenas áreas com grande sobrecarga de dados.

De acordo com o relatório de sondagem apresentado na Figura 10 os dados geotécnicos são apresentados a cada metro de profundidade atingida pelo amostrador, constando o índice de resistência à penetração, classificação táctil e visual, bem como o nível da água e do impenetrável.

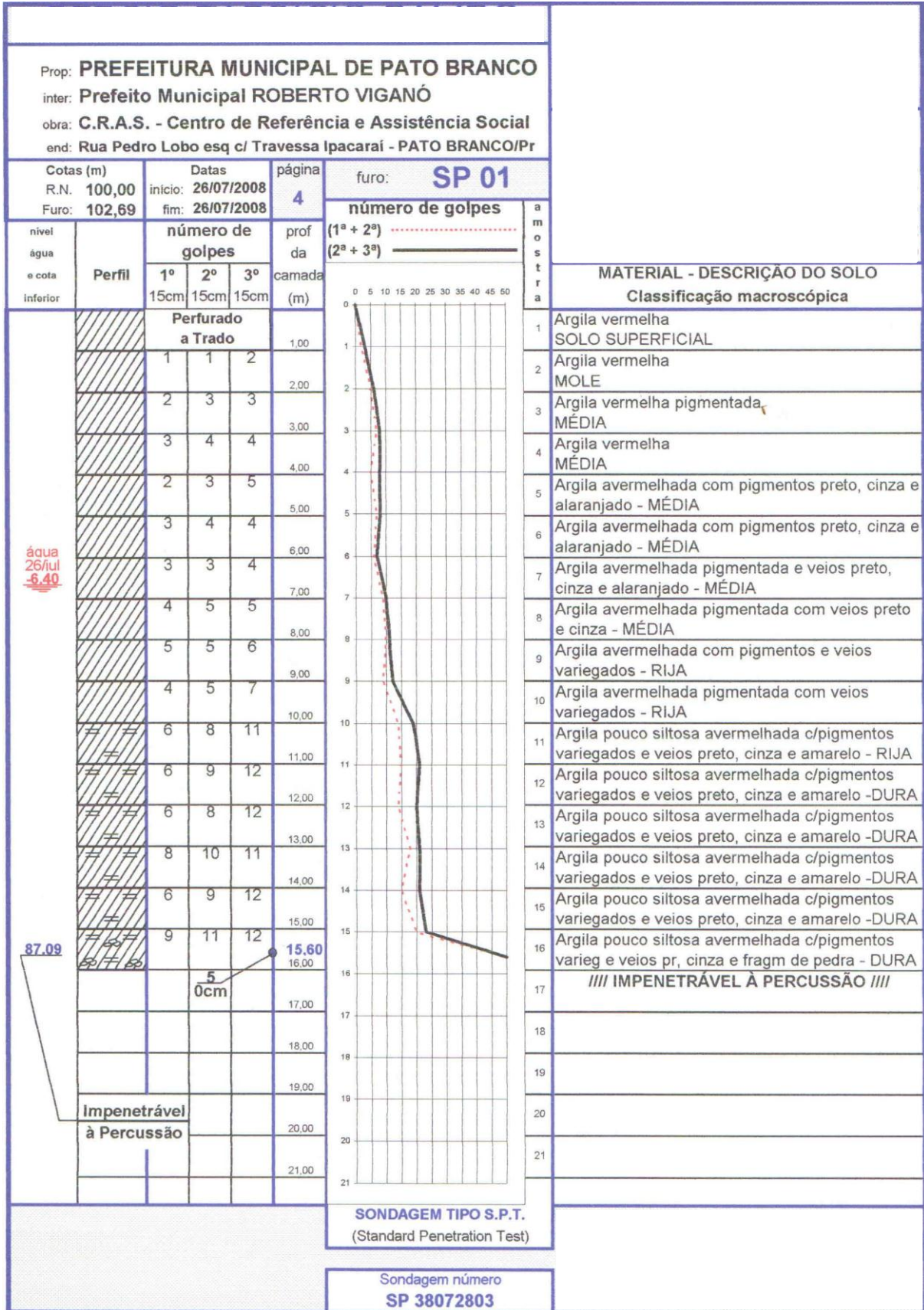


Figura 10 – Exemplo de relatório de sondagem.

Fonte: Engenheiro Civil S. T. Rambo (2008)

3.4 GEORREFERENCIAMENTO

Para apresentação dos resultados do estudo por meio de mapas gerados a partir de métodos computacionais se fez necessário alimentar o sistema de análise espacial com dados georreferenciados por coordenadas (X, Y, Z).

Tendo em mãos a preparação da pesquisa e os dados geotécnicos deu-se encaminhamento no levantamento da base cartográfica em meio digital, o que se fez fundamental no georreferenciamento dos dados obtidos por meio dos relatórios de sondagem. A base utilizada foi cedida pela Prefeitura municipal de Pato Branco e elaborada pela empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A, estava no formato *.dwg da Autodesk® Inc., e georreferenciado a partir das coordenadas UTM, contendo o arruamento, nomes das ruas, numeração de lotes e quadras, bem como as curvas de nível da área urbana de Pato Branco – PR.

O georreferenciamento dos furos de cada relatório de sondagem se deu a partir do software Autocad da Autodesk® Inc., de onde foram obtidas as coordenadas conforme demonstrado na Figura 11.

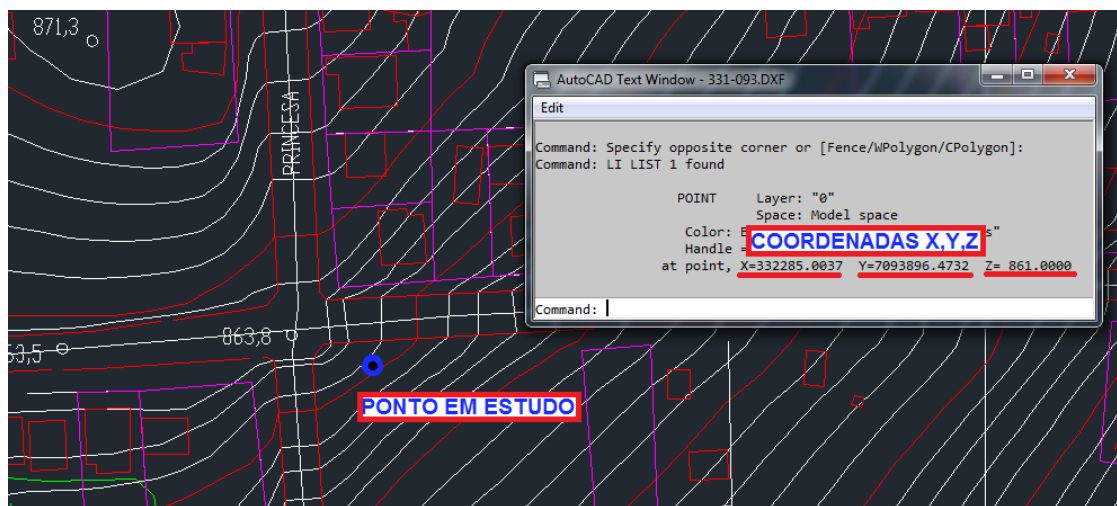


Figura 11 - Georreferenciamento dos furos dos relatórios de sondagem.

Fonte: Autores (2014)

3.5 BANCO DE DADOS

Após o georreferenciamento e seleção dos relatórios de sondagem foi necessária à elaboração de um banco de dados em meio digital para o armazenamento das informações obtidas, visando fornecer uma base necessária para o desenvolvimento dos mapas digitais temáticos em questão.

Os dados foram organizados e armazenados de acordo com a Figura 12, fazendo uso do *software Microsoft® Excel*, que apresentou fácil manipulação, recursos adequados e compatibilidade com o sistema de análise espacial utilizado.

Sondagem	Coordenadas			Imp.	Água	Índices de resistência à penetração											
	x	y	z			2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m	13m
28010903	332766.4	7096429.5	756.0	9.80	0.45	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	10.0	7.0	14.0				
28011003	332209.6	7098363.7	753.0	10.80	5.00	4.0	34.0	4.0	3.0	5.0	6.0	7.0	13.0	34.0			
28020607	331832.8	7097789.0	821.0	4.95	NAA	2.0	3.0	6.0									
28021103	331337.6	7100252.9	749.0	10.80	5.00	2.0	2.0	2.0	2.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0			
28030203	333385.5	7098113.9	762.0	10.45	2.50	4.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	9.0			
28030403	332465.1	7098520.7	748.3	10.30	1.15	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	6.0	4.0	2.0	7.0			
28030702	331982.6	7095471.0	843.0	13.90	10.80	7.0	6.0	11.0	13.0	6.0	8.0	7.0	7.0	10.0	11.0		

Figura 12 - Planilha principal dos dados.

Fonte: Autores (2014)

O banco de dados principal recebeu as coordenadas dos furos obtidas no processo de georreferenciamento e os dados geotécnicos de cada relatório de sondagem apresentados por meio dos índices de resistência à penetração, profundidade do impenetrável e profundidade de ocorrência de água.

A partir da planilha de dados principal apresentada na Figura 12 foram geradas planilhas secundárias para cada profundidade, tipo de solo, ocorrência de impenetrável e água. Nas planilhas secundárias constavam apenas as coordenadas X e Y para determinar a localização de cada furo e a coordenada Z para definir a ocorrência do dado estudado (tipo de solo, ocorrência de água, etc.) no local do furo. Os valores da coordenada Z foram apresentados da seguinte forma:

- “0” quando não ocorre o dado estudado no local do furo;
- “1” na ocorrência do dado estudado no local do furo;

Os tipos de solos foram designados nas planilhas secundárias conforme a Classificação quanto ao índice de Compacidade e de Consistência apresentadas na Tabela 2.

3.6 SISTEMA UTILIZADO PARA ANÁLISE ESPACIAL

Para tornar viável a elaboração de mapas digitais temáticos, a etapa de tratamento dos dados coletados foi executada na plataforma do *software Surfer* da *Golden Software Inc.*. Tal sistema apresenta aspectos de análise espacial como amostragem e interpolação de dados, com destaque para a confecção de mapas.

Os dados armazenados nas planilhas do *software Microsoft® Excel* apresentam compatibilidade com o *software Surfer*, desta forma foram vinculados com os mecanismos de interpolação para a obtenção dos mapas digitais temáticos.

3.6.1 Método de Interpolação

Com base em testes realizados com diversos métodos de interpolação contidos no *software Surfer*, definiu-se para uso o método do inverso ponderado da distância, tendo como principais benefícios o seu processamento computacional simples e fácil entendimento matemático, o que o torna aplicável a diversos trabalhos. Tal método mostrou resultados satisfatórios na geração dos mapas digitais temáticos do presente estudo.

O cálculo da média ponderada pela distância faz uso de ajustes do peso da distância entre os pontos por meio de um expoente. Foram testadas aplicações de diferentes expoentes para se definir a melhor representação dos resultados finais. Os testes podem ser visualizados na Figura 13.

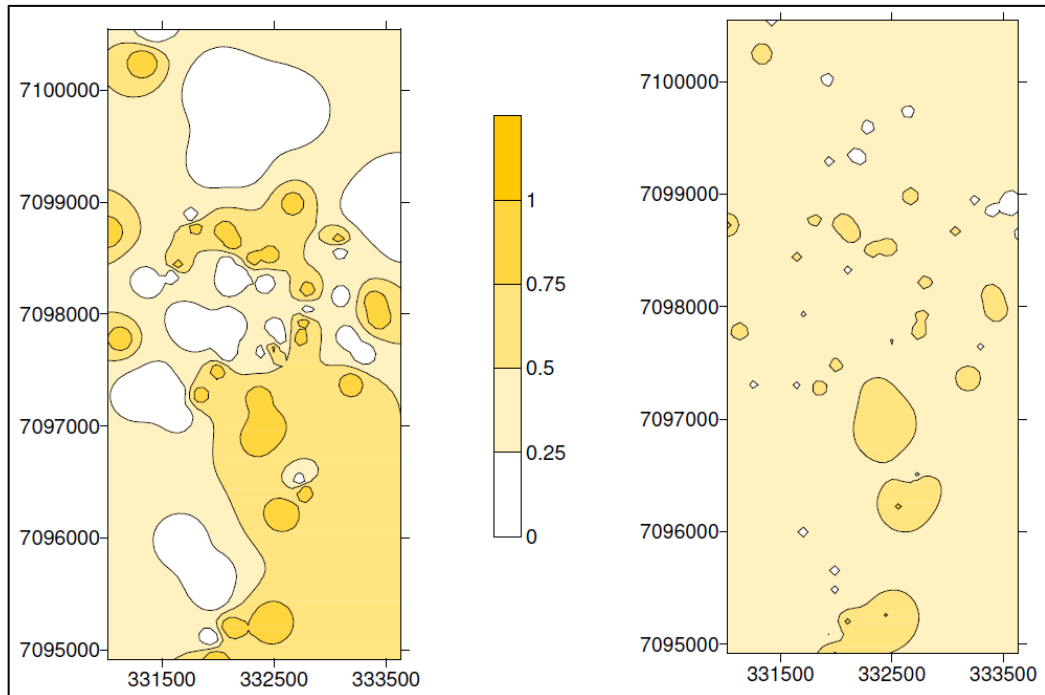


Figura 13 – Inverso Ponderado da Distância aplicado ao território de Pato Branco – PR, à direita aplicação do expoente “4” e a esquerda expoente “2”.

Fonte: Autores (2014)

Pôde-se verificar a partir dos testes que quando empregado o expoente “4” o mapa gerado se torna mais suave se comparado com o mapa originado pelo expoente “2”, confirmando que quanto maior o expoente maior é a influência da distância. Por meio destes resultados definiu-se o uso do expoente “2”.

Em conjunto com a função de interpolação foi utilizada a ferramenta *Overlay Maps* (sobreposição de mapas) disponível no sistema de análise espacial utilizado. Esta ferramenta de edição de mapas foi de grande importância para comparação e sobreposição dos diferentes dados apresentados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 LOCAÇÃO DOS FUROS E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A locação dos furos utilizados resultou na delimitação da área de estudo, que abrange 14,7 km², estando a maior parte situada na região central do município de Pato Branco – PR.

O mapa da Figura 14 apresenta os limites da área em questão e a distribuição dos 68 (sessenta e oito) furos que foram inseridos no banco de dados para utilização na interpolação e modelagem dos mapas digitais temáticos.

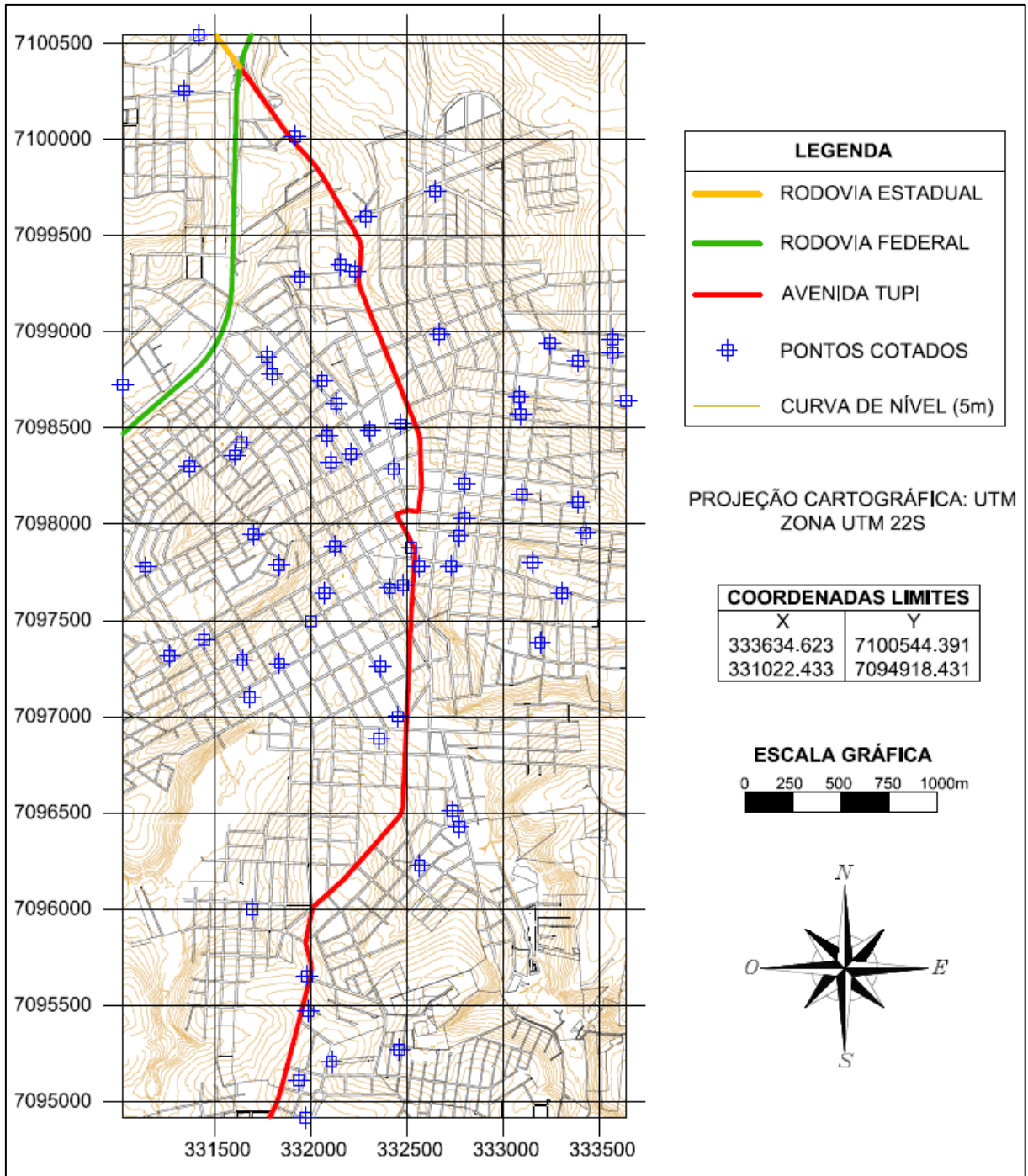


Figura 14 – Mapa de localização dos furos e delimitação da área de estudo.

Fonte: Autores (2014)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSOLO

O subsolo foi caracterizado pela ocorrência dos diferentes tipos de solos classificados de acordo com a NBR 6484/2004, a partir do índice de resistência à penetração. Foram ainda delimitadas as áreas com presença de água e com ocorrência de furos impenetráveis à percussão.

Os subitens apresentados a seguir neste estudo determinam a caracterização do subsolo por meio de mapas digitais temáticos que exibem os dados geotécnicos das profundidades de 2, 4, 8 e 16 metros, contados a partir do nível da superfície obtido a partir da base cartográfica fornecida pela Prefeitura Municipal de Pato Branco – PR.

4.2.1 Caracterização do subsolo a 2 metros de profundidade

As Figuras 15 a 17 apresentam os mapas de ocorrência dos diferentes tipos de solos na profundidade de 2 metros, bem como a presença de água e a ocorrência de furos impenetráveis à percussão.

Primeiramente, observa-se no mapa da Figura 15 a ocorrência predominante de argila muito mole a 2 metros de profundidade, distribuída em grande parte da área de estudo. Percebe-se também a presença de água em regiões eventuais no centro, bem como pequenos espaços impenetráveis à percussão situados na região noroeste.

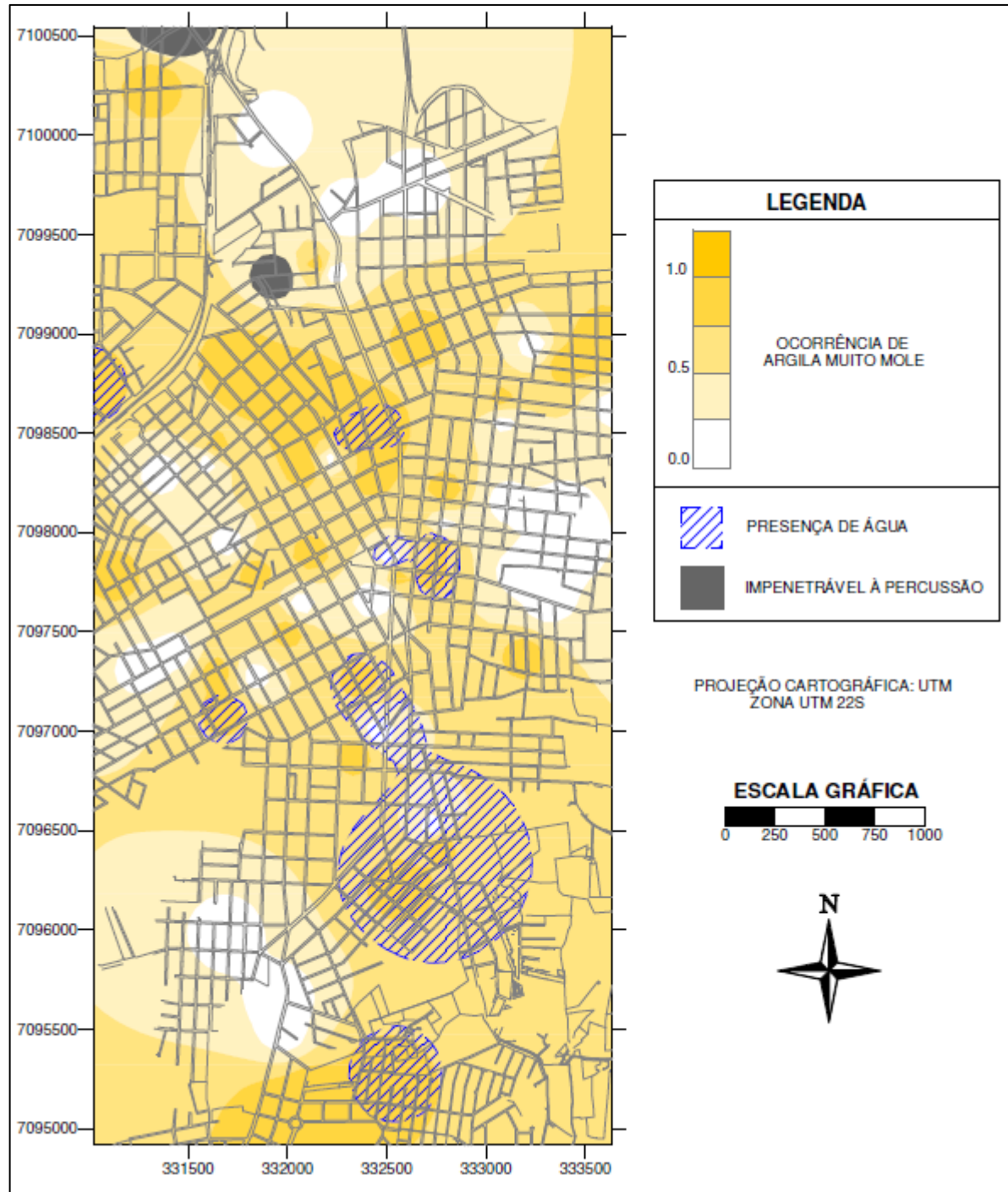


Figura 15 – Mapa de ocorrência de argila muito mole a 2 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Por sua vez, a Figura 16 exibe, entre os demais dados, a ocorrência considerável de argila mole a 2 metros de profundidade, distribuída na área de estudo.

Figura 16 – Mapa de ocorrência de argila mole a 2 m de profundidade

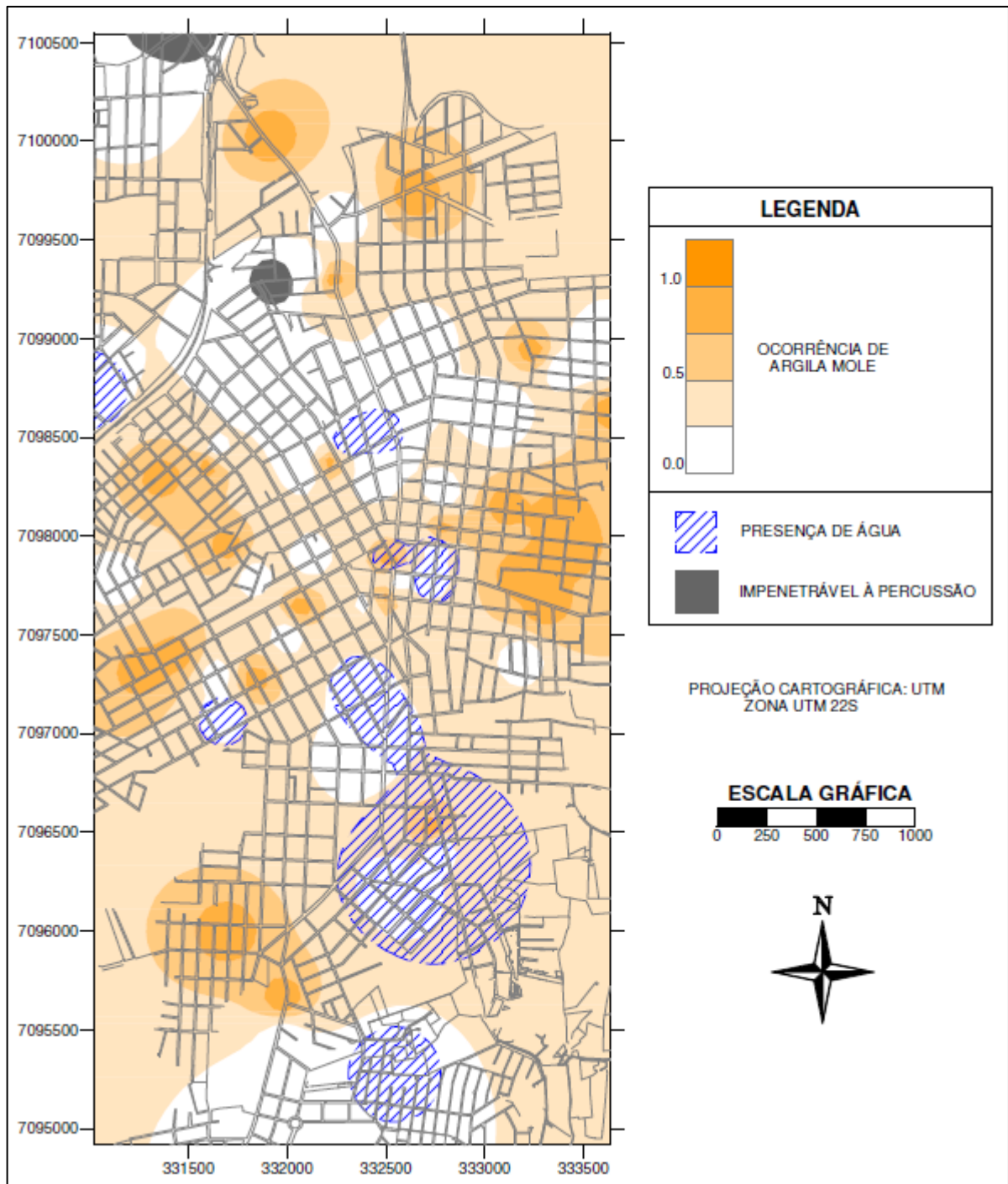


Figura 17 – Mapa de ocorrência de argila mole a 2 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Em sequência, a Figura 17 exhibe, entre outras, a baixa ocorrência de argila média a 2 metros de profundidade, onde esta se distribui em pequenas áreas situadas em regiões centrais da área estudada.

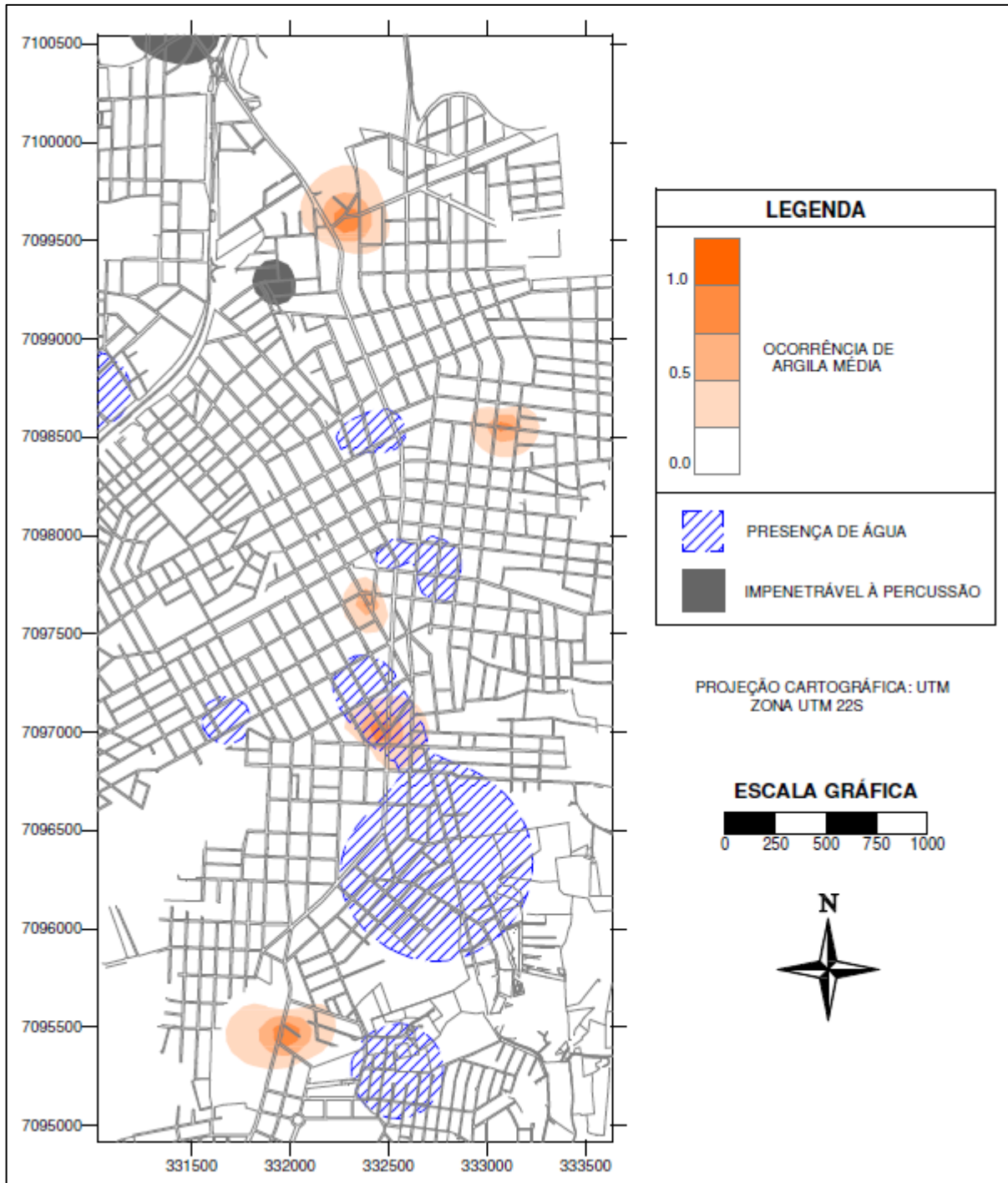


Figura 18 – Mapa de ocorrência de argila média a 2 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Por fim, o mapa da Figura 18 exibe a sobreposição dos mapas apresentados anteriormente, demonstrando os diferentes tipos de solos a 2 metros de profundidade.

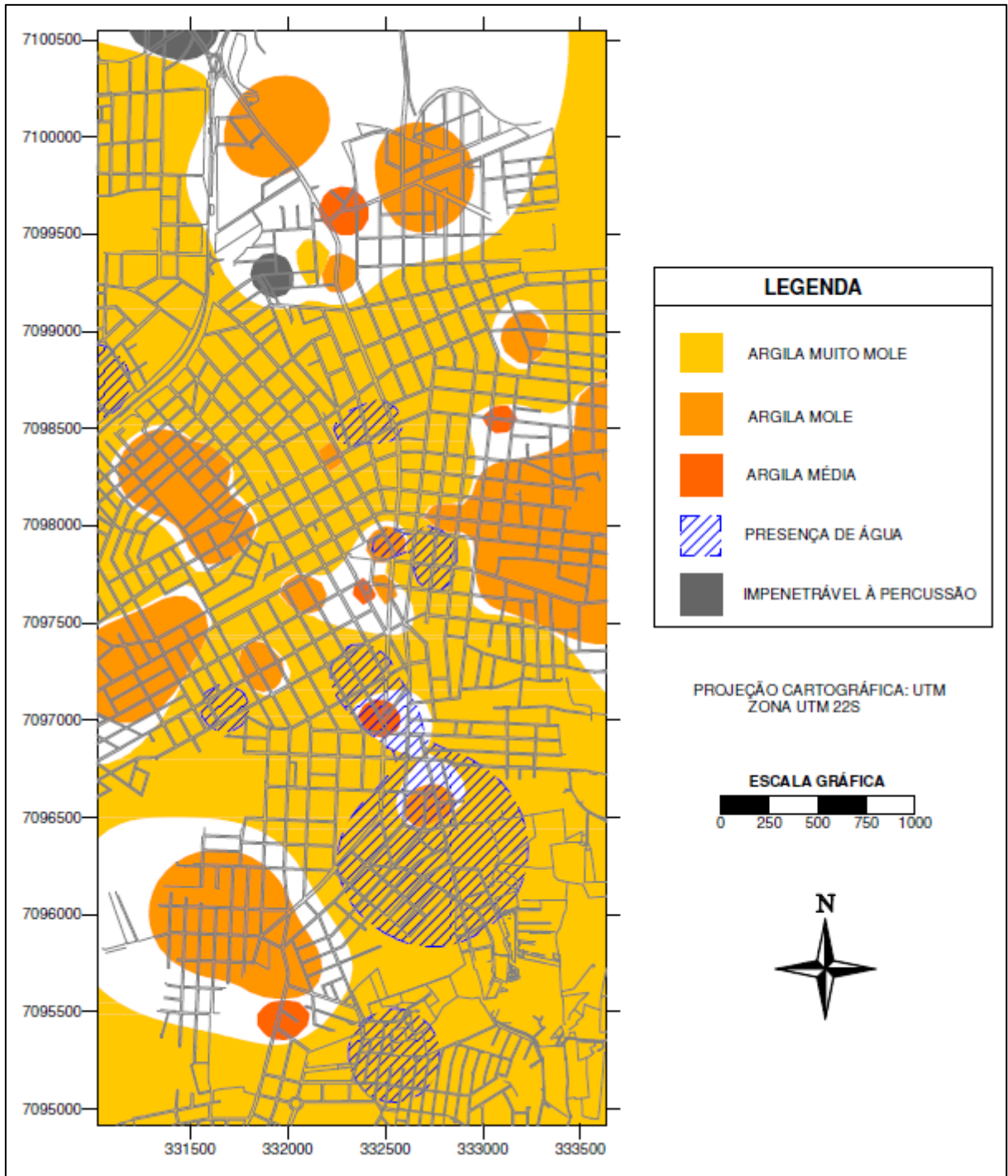


Figura 19 – Mapa dos tipos de solos a 2 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

4.2.1.1 Análise do solo a 2 metros de profundidade

A partir dos mapas apresentados pôde-se perceber a ocorrência de apenas três tipos de solos, além da presença de água e do impenetrável à percussão.

Conforme esquematizado na Figura 19, observa-se a predominância de argila muito mole seguida da argila mole e, por fim, a argila média com pouca ocorrência. A partir da análise, o impenetrável se mostrou presente em duas pequenas áreas na região noroeste da área de estudo, consistindo em apenas 3%.

Para uma melhor visualização, a figura referida apresenta dados numéricos indicando a percentagem, mediante ao número total de furos analisados de cada dado geotécnico obtido nos relatórios de sondagem.

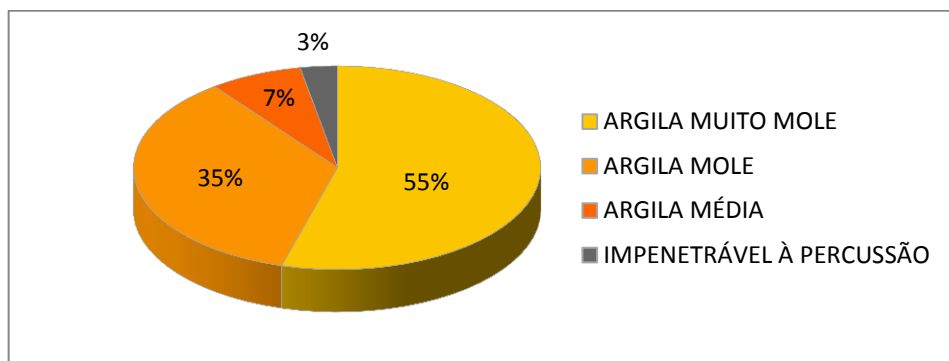


Figura 20 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 2 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

A presença de água, por sua vez, pode ser encontrada em diferentes áreas visíveis nos mapas apresentados anteriormente, abrangendo 18% dos furos, conforme demonstrado na Figura 20.

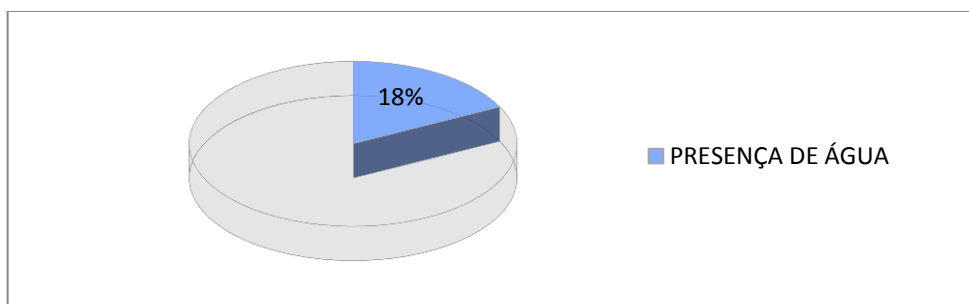


Figura 21 – Percentagem de furos com presença de água a 2 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

4.2.2 Caracterização do subsolo a 4 metros de profundidade

As Figuras a seguir, 21 a 24, exibem mapas que demonstram a ocorrência dos diferentes tipos de solos na profundidade de 4 metros, bem como a presença de água e de furos impenetráveis à percussão.

Observa-se inicialmente, no mapa da Figura 21, a ocorrência considerável de argila muito mole a 4 metros de profundidade, distribuída de forma aleatória na área estudada. Percebe-se também a presença de água em regiões centrais, bem como pequenas áreas impenetráveis à percussão situadas na região norte.

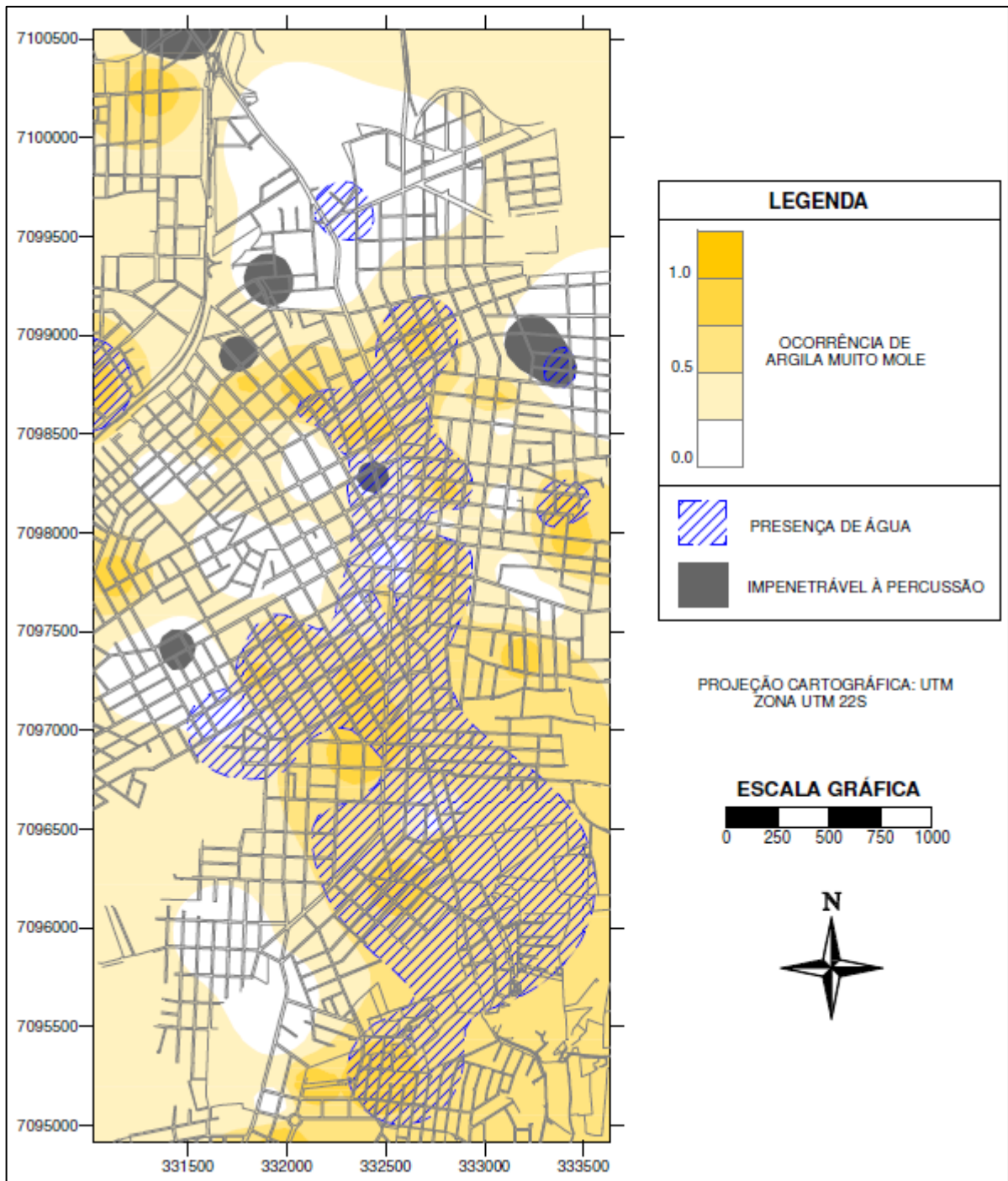


Figura 22 – Mapa de ocorrência de argila muito mole a 4 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Já a argila mole foi encontrada com ocorrência considerável a 4 metros de profundidade, distribuída aleatoriamente por toda a área de estudo, conforme pode ser observado na figura 22.

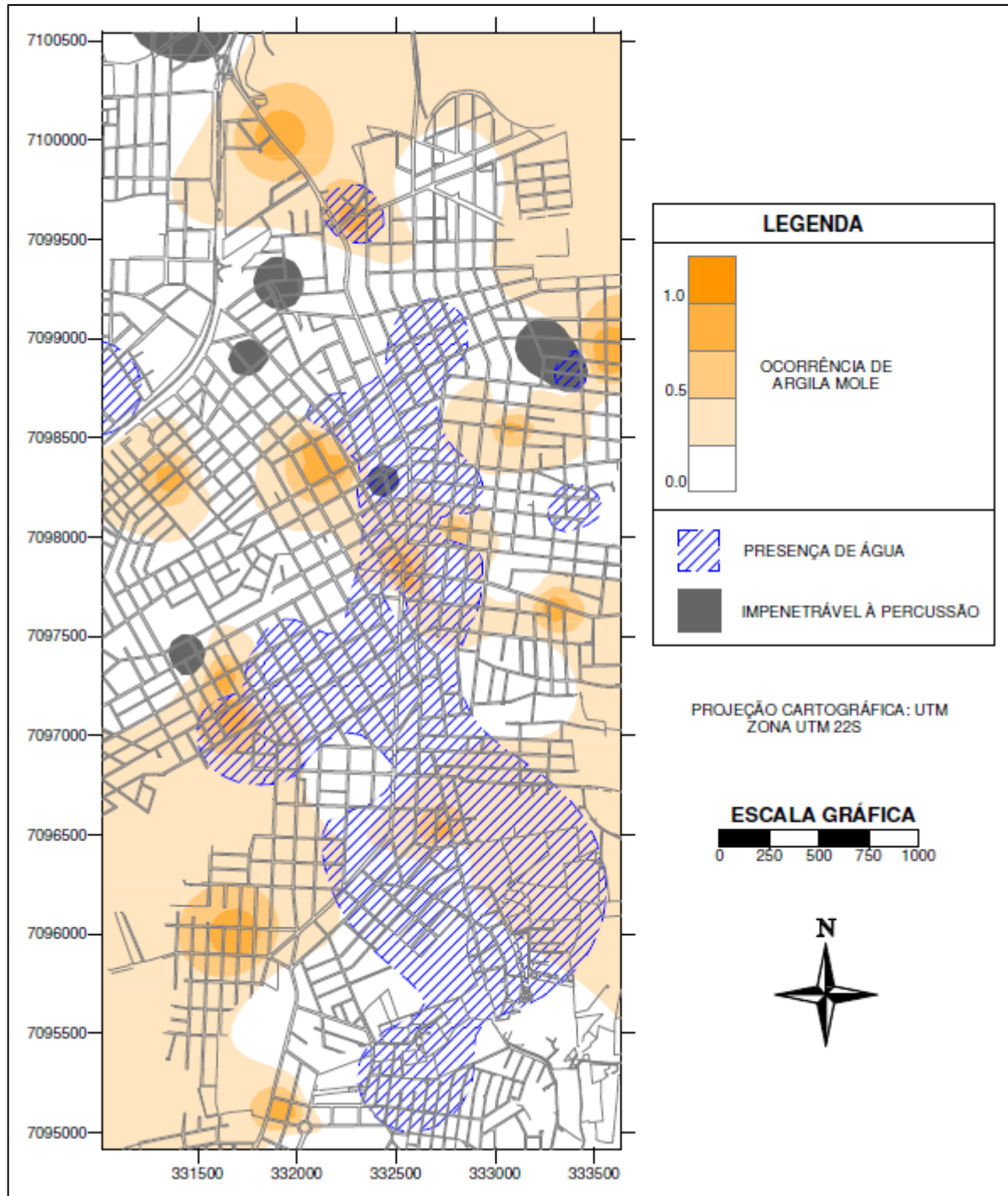


Figura 23 – Mapa de ocorrência de argila mole a 4 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Em sequência a figura 23 exhibe, junto aos demais dados, a baixa ocorrência de argila média a 4 metros de profundidade, distribuída em diferentes pontos situados principalmente na região central e norte, com ocorrência em uma pequena área na região sudoeste do mapa.

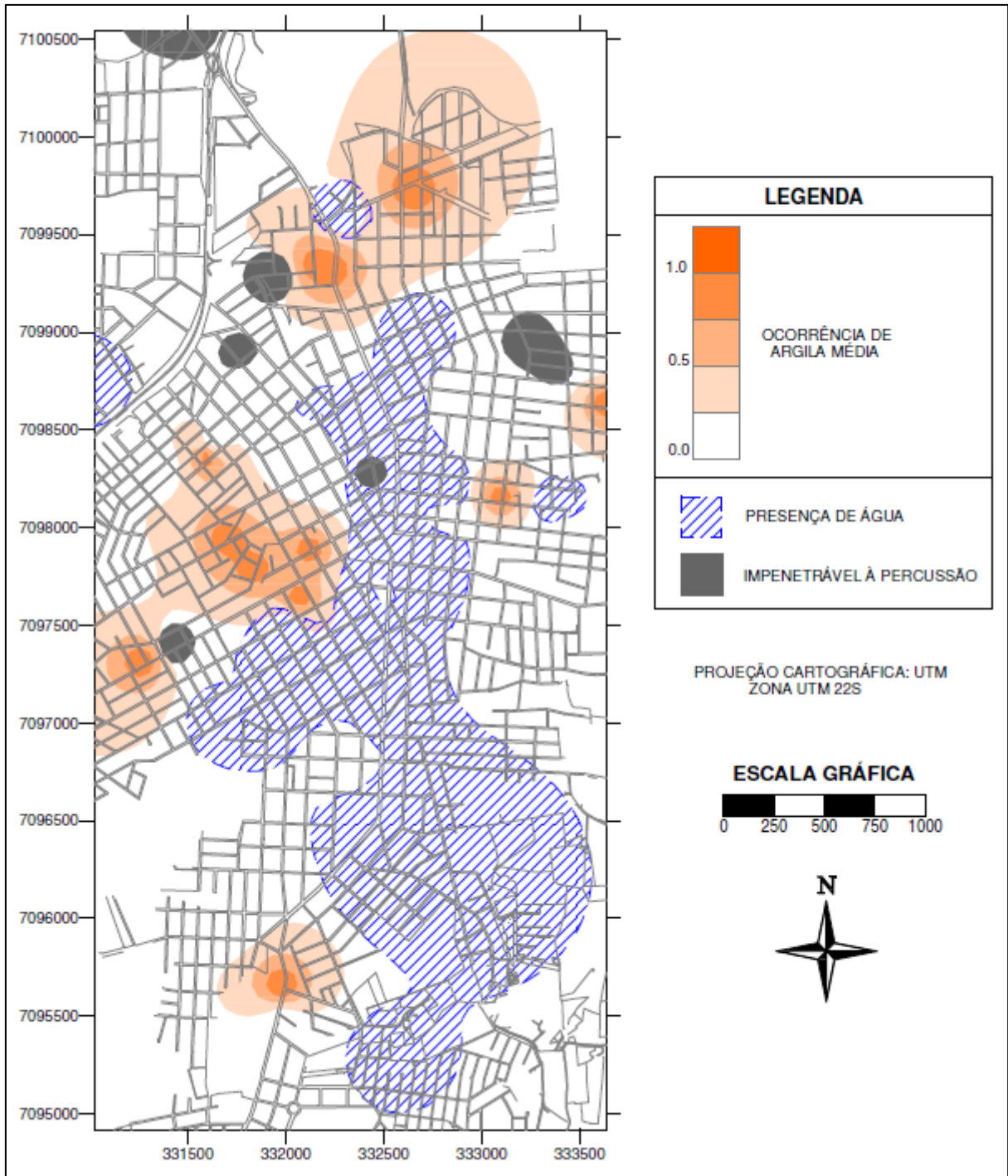


Figura 24 – Mapa de ocorrência de argila média a 4 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Em seguida, de acordo com a figura 24, além dos demais dados, foi detectada a baixa ocorrência de argila rija a 4 metros de profundidade, situada em poucos pontos, especialmente na região central e sul, tendo ocorrência também em uma pequena área na região sudoeste do mapa.

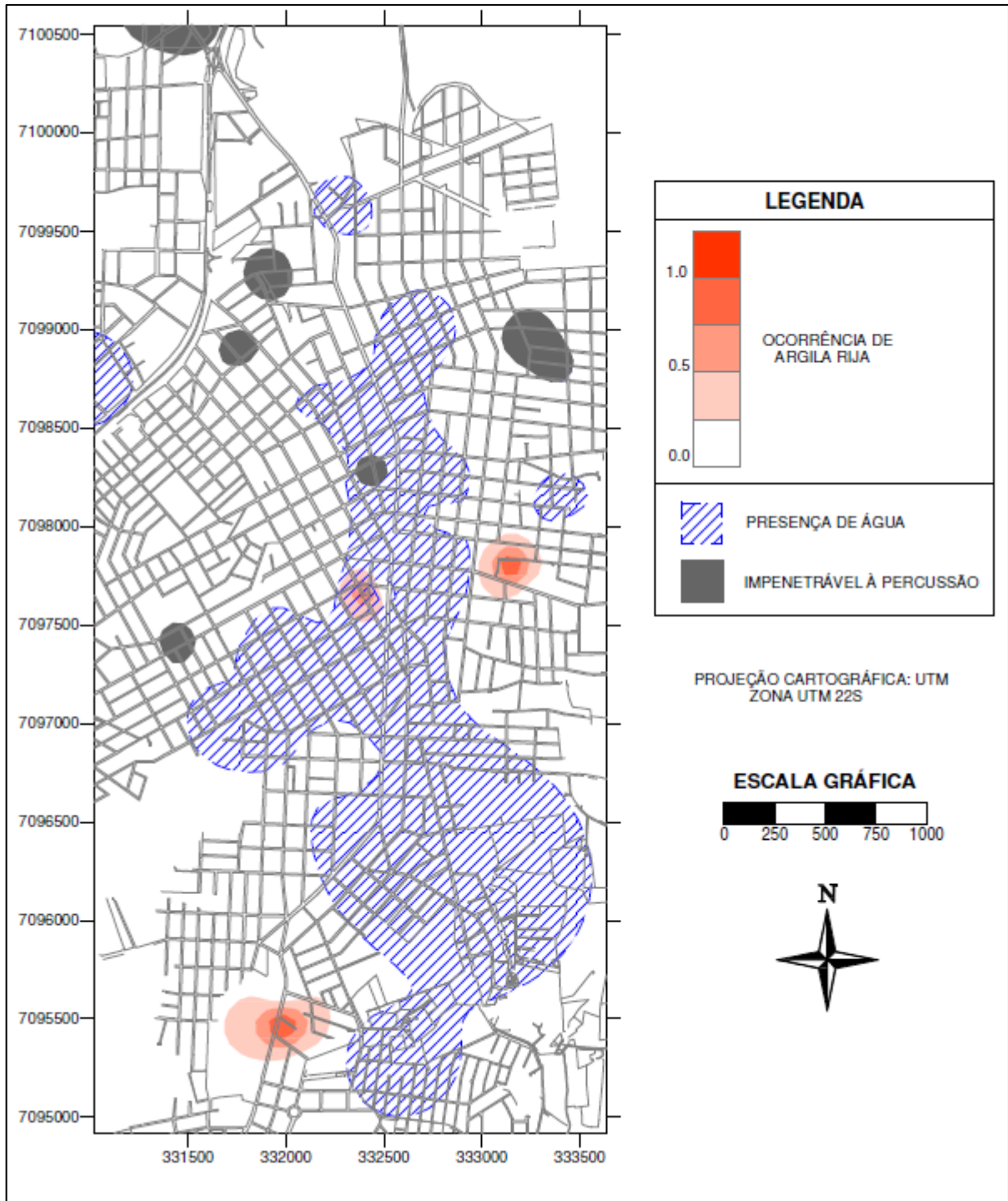


Figura 25 – Mapa de ocorrência de argila rija a 4 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Para finalizar, o mapa da Figura 25 exibe a sobreposição dos mapas de ocorrência caracterizados anteriormente.

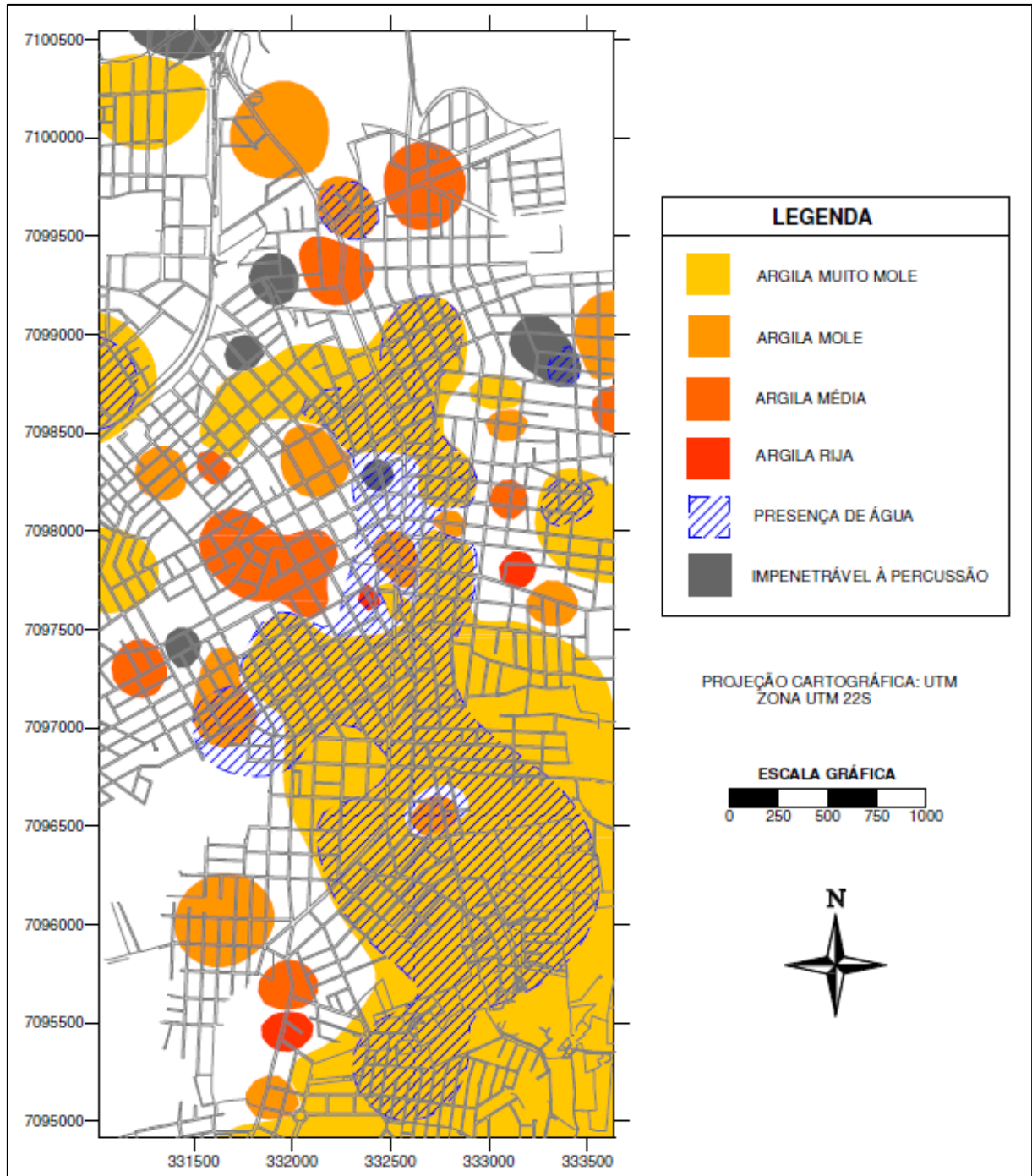


Figura 26 – Mapa dos tipos de solos a 4 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

4.2.2.1 Análise do solo a 4 metros de profundidade

A partir dos mapas apresentados, notou-se a ocorrência de quatro tipos de solos, além da presença de água e do impenetrável à percussão.

Conforme esquematizado na Figura 26, observa-se a predominância de argila muito mole seguida da argila mole, argila média e, por fim, a argila rija com pouca ocorrência. Além disso, conclui-se que o impenetrável se mostrou presente na região central e na região norte em 10% da área de estudo.

Ainda, são apresentados os dados numéricos indicando a percentagem, mediante o número total de furos analisados de cada dado geotécnico obtido nos relatórios de sondagem.

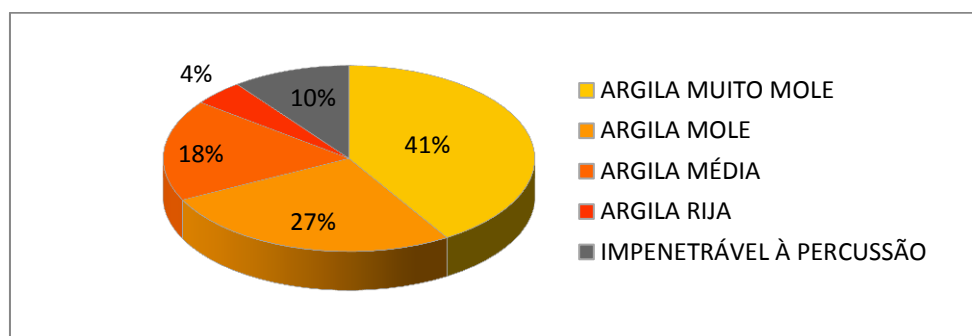


Figura 27 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 4 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

A presença de água pode ser visualizada na figura 27, a qual demonstra a ocorrência em 34% dos furos em diferentes áreas.

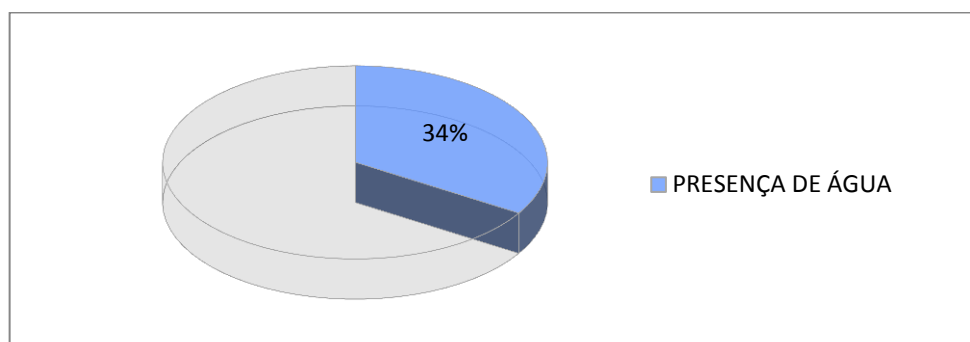


Figura 28 – Percentagem de furos com presença de água a 4 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

4.2.3 Caracterização do subsolo a 8 metros de profundidade

As Figuras 28 a 32 apresentam os mapas que demonstram a ocorrência dos diferentes tipos de solos na profundidade de 8 metros, bem como a presença de água e a ocorrência de furos impenetráveis à percussão.

Partindo da figura 28, observa-se o mapa que indica a baixa ocorrência de argila muito mole a 8 metros de profundidade, distribuída especialmente em regiões centrais, com exceção da presença em um ponto ao norte da área em estudo. Percebe-se também a presença de água predominante na área em questão, bem como pequenos espaços impenetráveis à percussão situados em regiões centrais e noroeste.

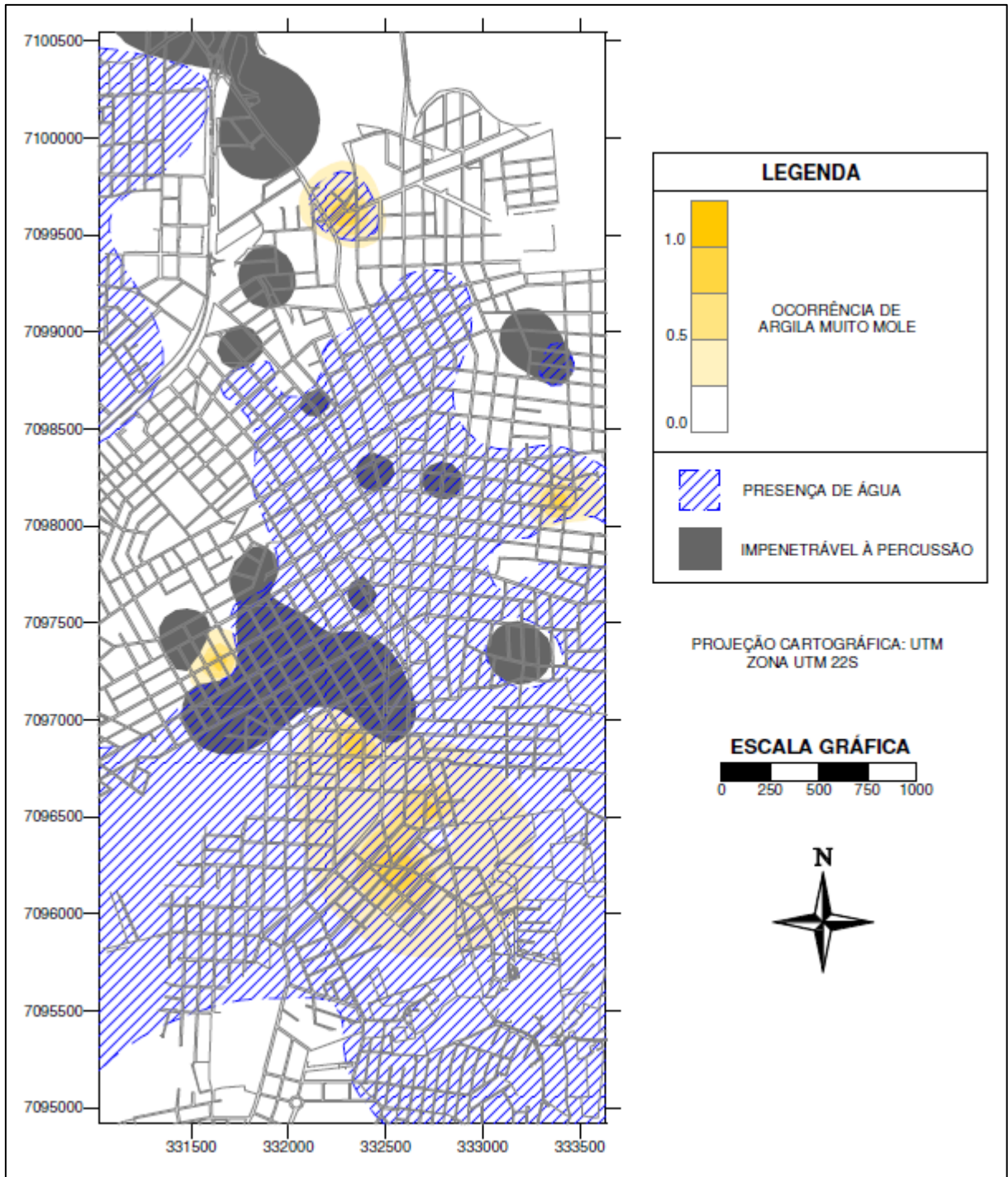


Figura 29 – Mapa de ocorrência de argila muito mole a 8 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

A Figura 29 exhibe, além dos demais dados, a pouca ocorrência de argila mole a 8 metros de profundidade, distribuída em alguns pontos na região central e em um único ponto ao sul.

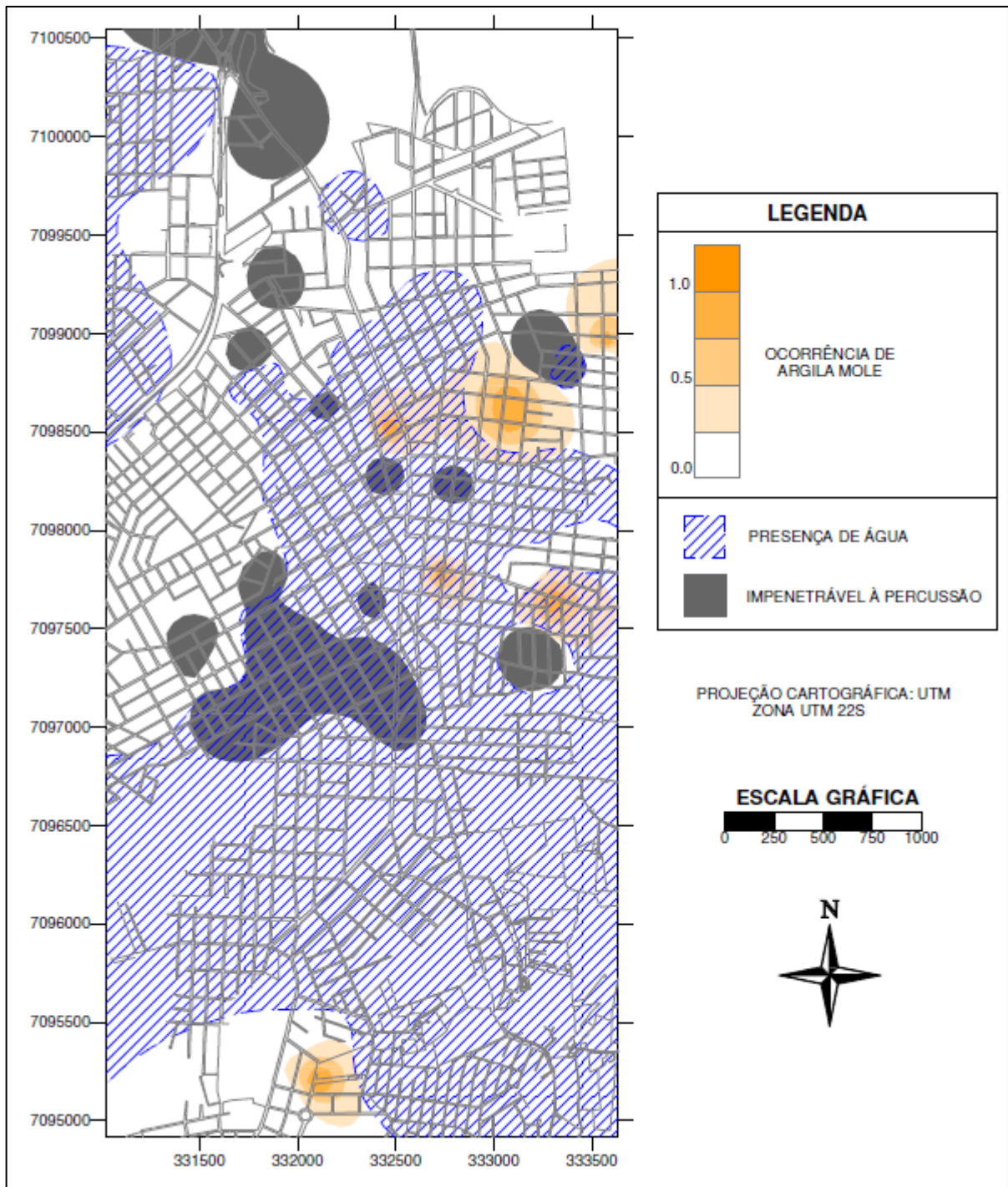


Figura 30 – Mapa de ocorrência de argila mole a 8 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Em sequência, a Figura 30 exhibe entre os demais dados a ocorrência predominante de argila média a 8 metros de profundidade, distribuída ao longo de toda a área em estudo.

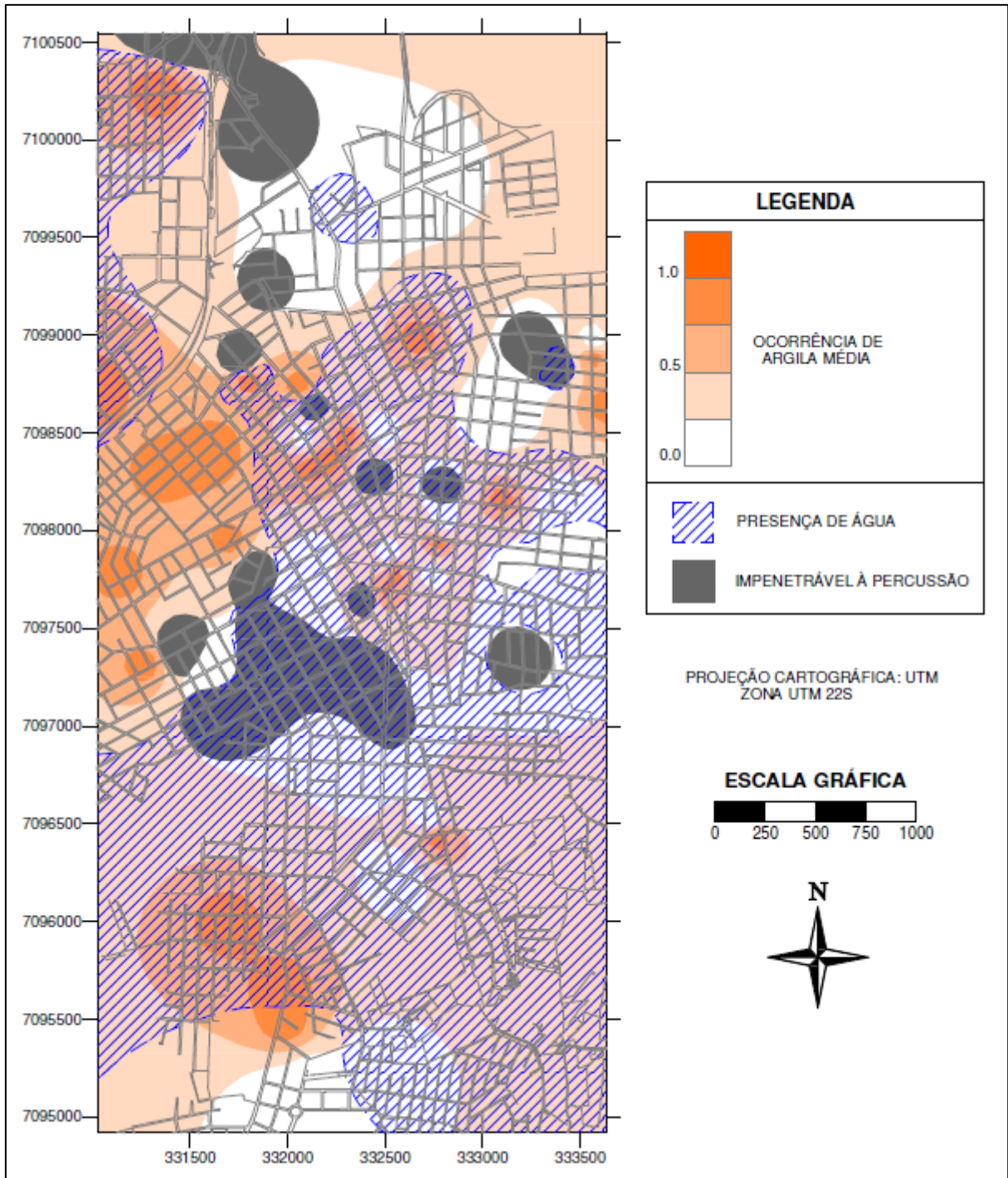


Figura 31 – Mapa de ocorrência de argila média a 8 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Por sua vez, a Figura 31 exhibe, entre os demais dados, a baixa ocorrência de argila rija a 8 metros de profundidade, distribuída em pequenas áreas situadas em regiões pontuais ao centro, norte e sul da área.

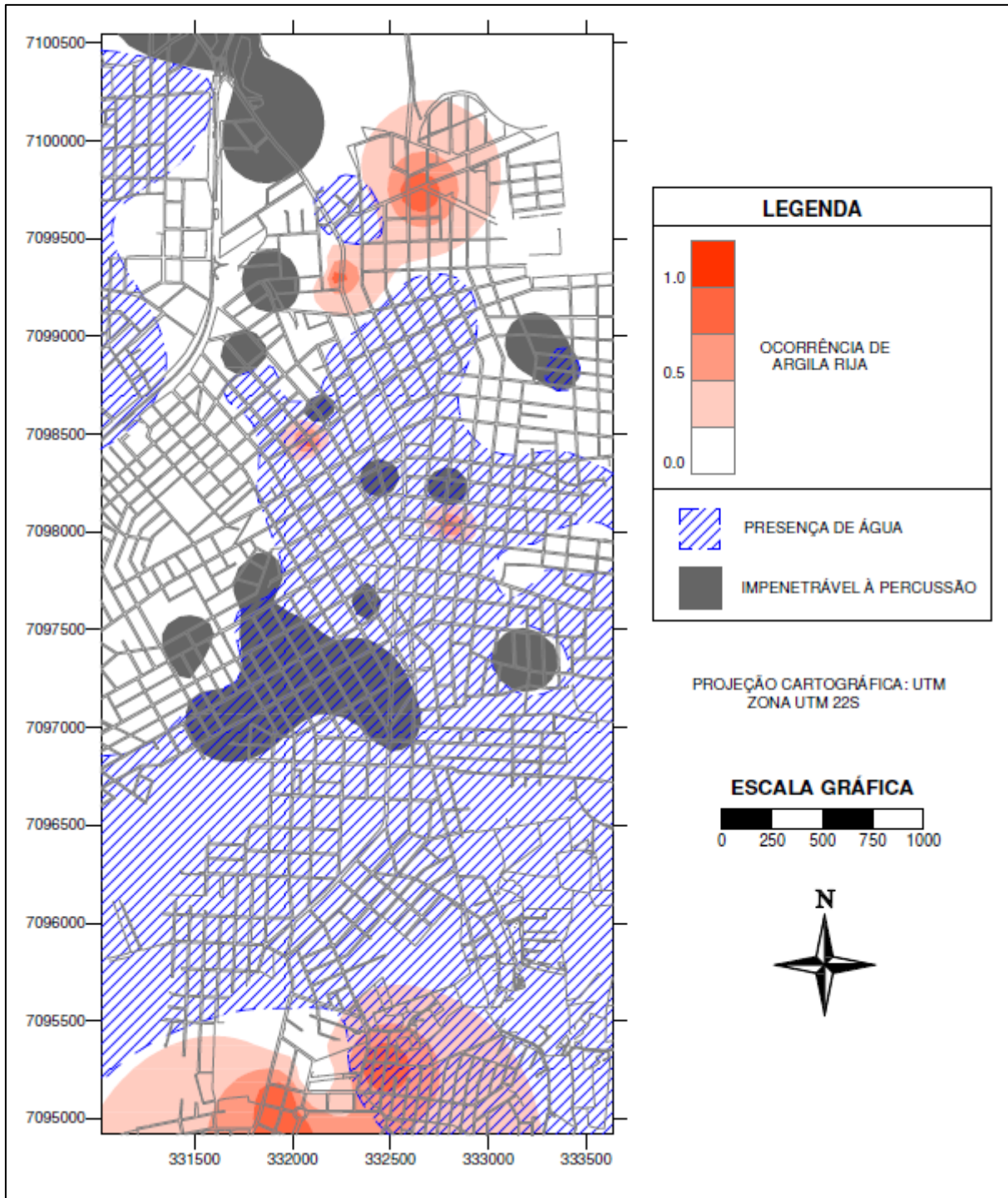


Figura 32 – Mapa de ocorrência de argila rija a 8 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

Já a Figura 32 exhibe, além dos demais, a baixa ocorrência de argila dura a 8 metros de profundidade, distribuído em pequenas áreas situadas em espaços centrais do mapa.

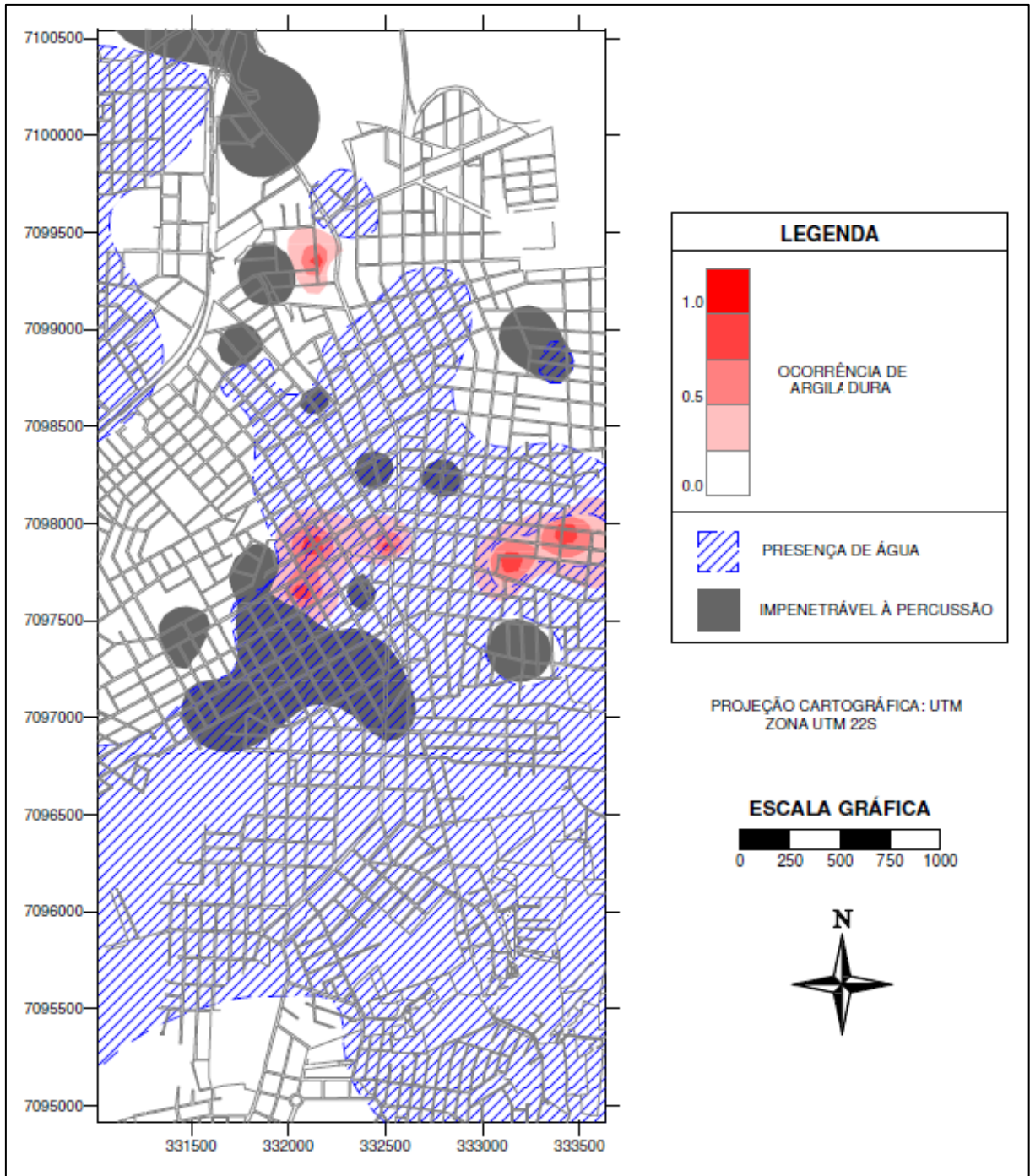


Figura 33 – Mapa de ocorrência de argila dura a 8 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

O mapa da Figura 33 exibe a sobreposição dos dados vistos anteriormente, considerando 8 metros de profundidade.

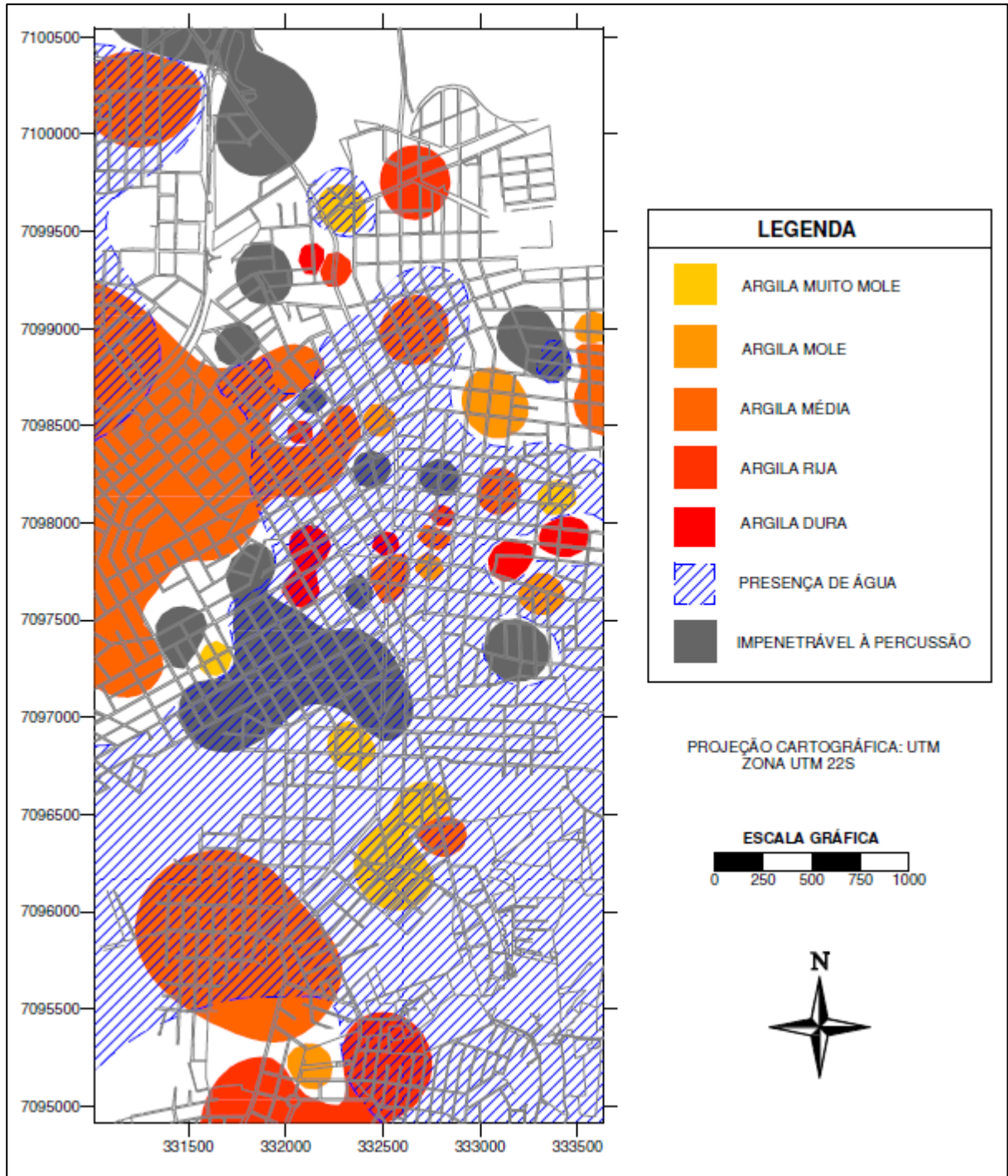


Figura 34 – Mapa dos tipos de solos a 8 m de profundidade.

Fonte: Autores (2014)

4.2.3.1 Análise do solo a 8 metros de profundidade

A partir dos mapas apresentados, pôde-se perceber a ocorrência de todas as variáveis de argila presentes na classificação da NBR 7250/2004, além da presença de água e do impenetrável a percussão.

Conforme esquematizado na Figura 34, observa-se a predominância de argila média, seguida da argila mole e rija, e a pouca ocorrência de argila muito mole e dura. Ainda, o impenetrável se mostrou presente na região noroeste da área de estudo, consistindo em consideráveis 27%.

A figura também apresenta dados numéricos indicando a percentagem, mediante o número total de furos analisados de cada dado geotécnico obtido nos relatórios de sondagem.

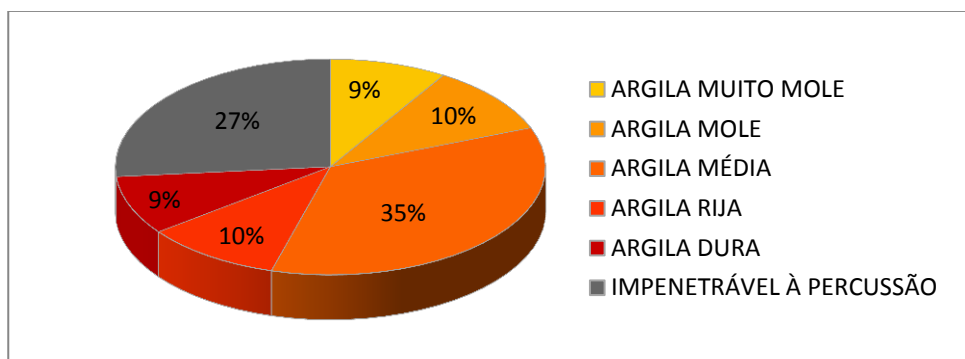


Figura 35 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 8 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

A presença de água, indicada anteriormente em diferentes áreas, pode ser visualizada na Figura 36, a qual demonstra a abrangência em 53% dos furos.

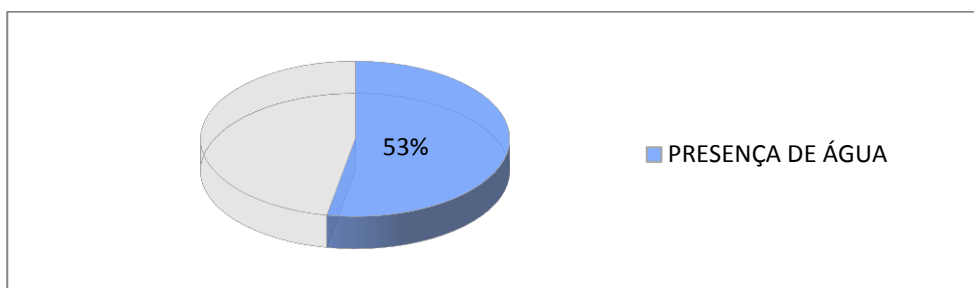


Figura 36 – Percentagem de furos com presença de água a 8 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

4.2.4 Caracterização do subsolo a 16 metros de profundidade

É importante frisar que a caracterização do subsolo para a profundidade de 16 metros se deu a partir de 57 relatórios de sondagem, devido ao fato de 11 destes apresentarem o limite de sondagem paralisado a profundidades menores que 16 metros.

Assim, a figura 36 apresenta a sobreposição dos mapas de ocorrência dos diferentes tipos de solos na profundidade de 16 metros, bem como a presença de água e a ocorrência de furos impenetráveis à percussão.

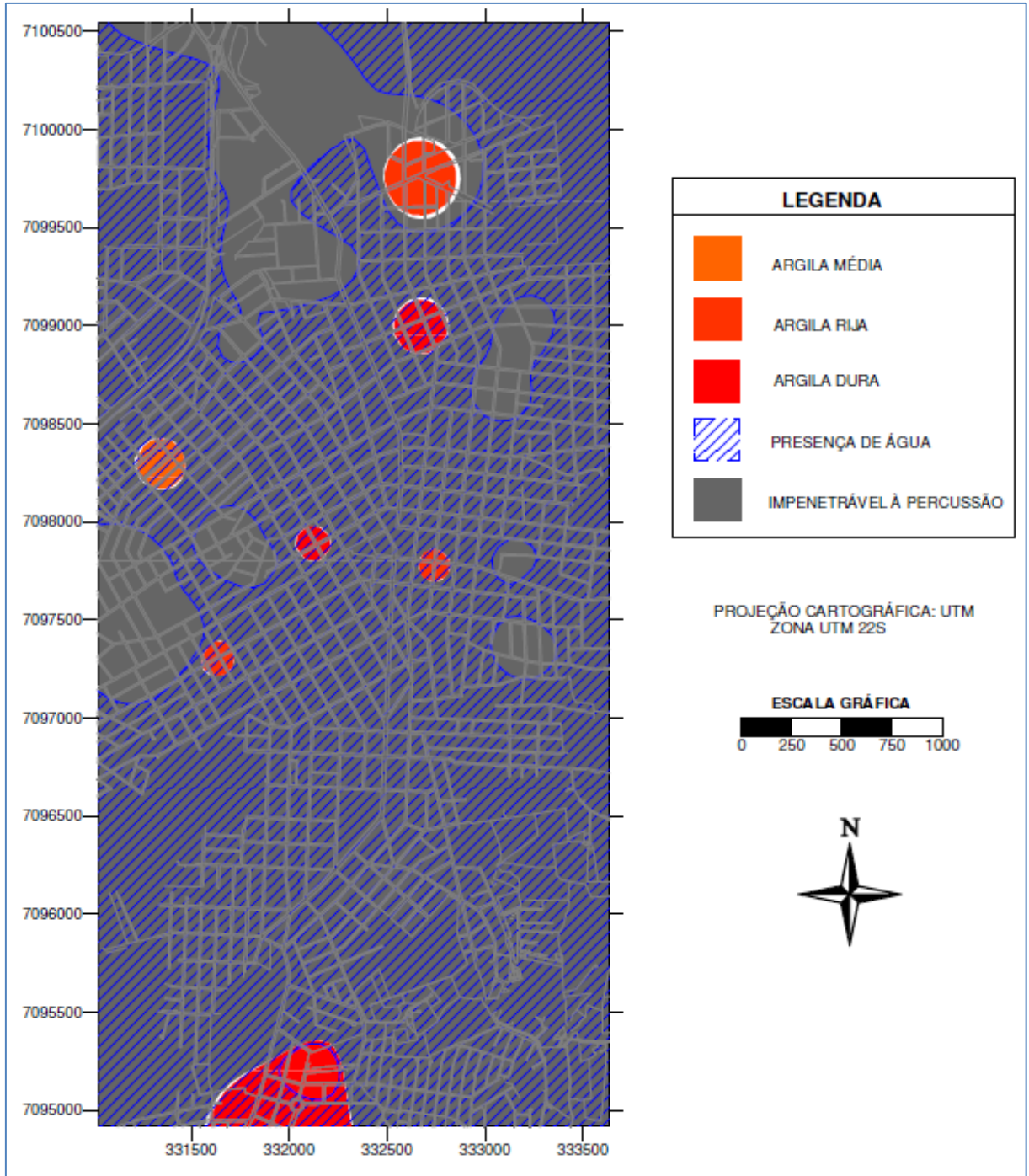


Figura 37 – Mapa dos tipos de solos a 16 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

4.2.4.1 Análise do solo a 16 metros de profundidade

A partir dos mapas apresentados, pôde-se perceber a ocorrência de apenas três tipos de solos, além da presença de água e do impenetrável à percussão.

Conforme esquematizado na Figura 37, observa-se que ocorre a predominância do impenetrável na região noroeste em 88% da área indicada, seguido de argila rija e dura e, por fim, a argila média, ambas com pouca ocorrência.

A figura também apresenta dados numéricos indicando a percentagem, mediante o número total de furos analisados de cada dado geotécnico obtido nos relatórios de sondagem.

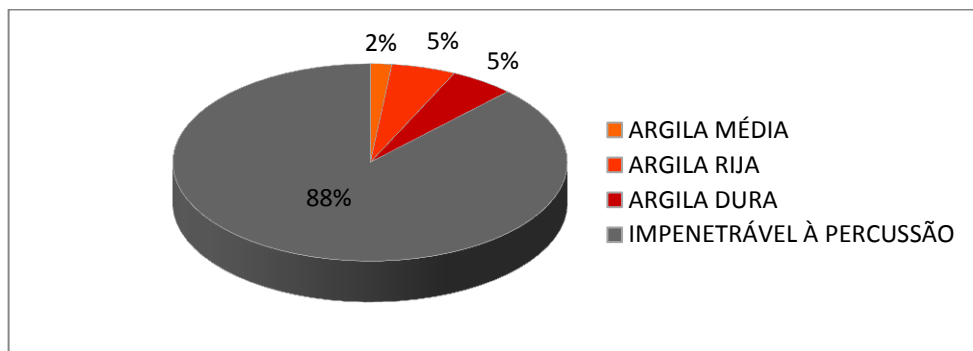


Figura 38 – Percentagem de dados geotécnicos ocorridos a 16 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

A presença de água pode ser visualizada em diferentes áreas abrangendo 68% dos furos, conforme apresentado na Figura 38.

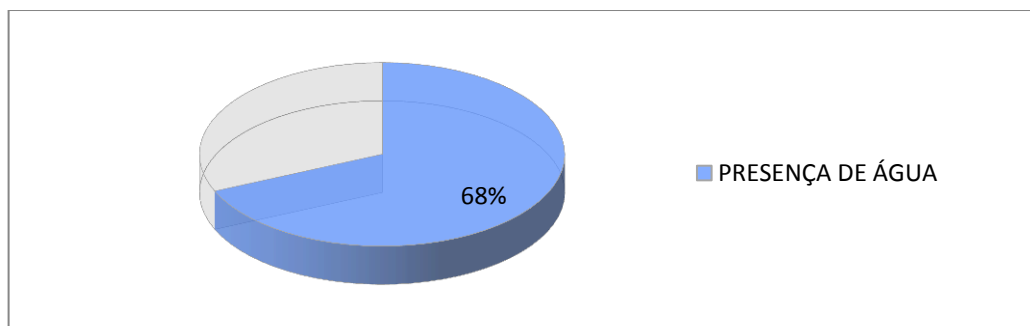


Figura 39 – Percentagem de furos com presença de água a 16 m de profundidade

Fonte: Autores (2014)

4.2.5 Análise geral da área de estudo

Com o levantamento dos dados geotécnicos e a implantação dos mesmos em uma análise espacial verificou-se a ocorrência exclusiva de solos argilosos, condizendo com o mapa de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudoeste do Paraná, com foco na Bacia do Rio Ligeiro, que demonstra a predominância na região do solo do tipo latossolo, que se define, entre outras características, por possuir horizontes argilosos.

Por meio dos mapas apresentados pode-se verificar que, referente à classificação dos solos contidos na NBR 7250/2004, os índices de resistência à penetração, em sua grande maioria, aumentam conforme o avanço da profundidade aumenta a quantidade de água até alcançar o ponto do impenetrável à percussão. Por sua vez, o índice de resistência à penetração é interpretado como uma medida de resistência do solo, que é em grande parte determinado pelas características geotécnicas do solo ensaiado. Sendo assim, evidencia-se que a resistência do solo, na maioria da área estudada, aumenta conforme a profundidade.

Da mesma forma, amplificam-se as áreas com ocorrência de índices impenetráveis a percussão, chegando a se fazer presente em 88% dos pontos amostrados para a profundidade de 16 metros.

Assim como as demais características anteriores, a análise da presença de água possui grande importância no planejamento de obras civis, podendo impedir ou inviabilizar métodos de execuções das mesmas. Com os resultados apresentados pode-se verificar a ocorrência de água nos primeiros metros de profundidade em regiões centrais da área de estudo, que consiste nas regiões mais baixas da superfície terrestre do município.

5 CONCLUSÃO

Este estudo abordou o desenvolvimento de um banco de dados com informações provenientes de 68 relatórios de sondagens de simples reconhecimento SPT (*Standart Penetration Test*) do município de Pato Branco – Paraná. Foram descritas as características da área analisada bem como as atividades executadas correspondentes à estruturação do estudo, desde a realização de uma revisão bibliográfica até a operação e análises dos dados armazenados.

O uso dos relatórios de sondagem na geração de mapas digitais temáticos (MDT) foi a principal atividade desempenhada, a qual promoveu o emprego de um sistema de análise espacial vinculado com *softwares* mais presentes no cotidiano da engenharia, como o *Autocad* da *Autodesk® Inc.* e o *Microsoft® Excel*.

O *software Surfer* da empresa *Golden Software Inc.* foi o sistema de análise espacial utilizado. Tal software se mostrou indispensável na realização do estudo, permitindo o tratamento dos dados armazenados através de algoritmos de interpolação. A sua interface favoreceu de maneira prática a elaboração e configuração dos mapas digitais temáticos.

Por sua vez, a interpolação dos dados amostrados obteve resultados satisfatórios, permitindo a confecção dos mapas, na medida em que os mesmos foram trabalhados juntamente com outras ferramentas, como por exemplo, a sobreposição. A geração dos mapas se apresentou de forma estimulante devido à fácil execução e visualização dos resultados finais, de modo a favorecer a interpretação.

Para verificar as características do subsolo da área de estudo, foram gerados mapas para cada tipo de solo ocorrido nas profundidades de 2, 4, 8 e 16 metros de profundidade, incluindo como informações adicionais a presença de água e a ocorrência do impenetrável à percussão.

A utilização dos resultados desse trabalho abre um precedente importante para o planejamento de uso e ocupação do solo, criando a possibilidade de uso deste estudo para obter informações preliminares acerca de futuras obras civis localizadas no município de Pato Branco – PR, uma vez que o conhecimento das características do subsolo é fator extremamente necessário para o desenvolvimento de projetos econômicos e seguros.

Estudos preliminares a partir dos resultados demonstrados por este trabalho podem determinar até mesmo a inviabilidade técnica ou econômica para futuros empreendimentos. Porém não se dispensa a necessidade de executar relatórios de sondagem para elaboração de projetos finais.

Contudo, considera-se que os objetivos propostos na pesquisa foram alcançados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2004). **NBR 6122: Projeto e Execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 7250: Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos**. Rio de Janeiro, 2010.

CÂMARA, Gilberto., MONTEIRO Antônio M., FUCKS, Suzana D., CARVALHO Marília S. **Análise Espacial e Geoprocessamento**. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>>. Acesso em: 28/01/2014.

DIAS, Ramon S. et al. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR). 8, 2011, Curitiba. **Avaliação de métodos de interpolação aplicados à espacialização das chuvas no território identidade Portal do Sertão / Bahia**. Curitiba: INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1305.pdf>> Acessado dia 11/07/2014.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Brasília, 2006.

_____. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudoeste do Estado do Paraná**. Curitiba, EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, Boletim Técnico 40, 79p.

FOLLE, Daiane. **O estudo geoestatístico da sondagem SPT para geração de mapas auxiliares em obras de engenharia**. 2002. 217 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FONTELES, HelanoR. da N. **Caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do município de Fortaleza (CE) com base em geoestatística**. 2003. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

HACHICH, Waldemar, FALCONI, Frederico F., SAES, José L., FROTA, Régis G. Q., CARVALHO, Celso S., NIYAMA, Sussumu. **Fundações: Teoria e Prática**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1998.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Manuais Técnicos em Geociências. 2 ed. Rio de Janeiro, 2007.

LANDIM, P.M.B., MONTEIRO, R. C., CORSI, A. C. **Introdução à confecção de mapas pelo software SURFER**. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, La. Geomatemática, Texto Didático 08,22 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 28/01/2014.

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

LUKIANCHUKI, Juliana A. **Interpretação de resultados do ensaio SPT com base em instrumentação dinâmica**. 2012. 365 f. Dissertação (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2012.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

PINTO, Carlos de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3 ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2006.

ROCHA, M. M. **Modelagem da Dispersão de Vetores Bbiológicos com emprego da Estatística Espacial**. 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.

ROSA, Roberto. **Análise Espacial e Geografia**. Uberlândia, 2011. Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia. Disponível em <<http://anpege.org.br/revista/ojs-2.2.2/index.php/anpege08/article/viewFile/163/RAE23>>. Acesso em: 21/07/2014.

SCHNAID, 2000. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. São Paulo: Oficina de textos, 2000.

SANTOS, Eliana F. dos. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas aos solos tropicais**. 2006. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Transportes) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

SILVA, Daniel F. da. **Mapeamento geoestatístico dos parâmetros N_{spt} e torque máximo de solos em parte da bacia do Ribeirão Cambezinho em Londrina/ Pr**. 2008. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

SOARES, Wanessa C. **Banco de dados geológico – geotécnicos com base em sondagens à percussão e uso de SIG: análise espacial da profundidade do lençol freático e do N_{SPT} para obras de fundação em João Pessoa – PB**. 2011. 215 f. Tese (Pós Graduação em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

SURFER, version 8.0. – Contouring, Gridding, and Surface Mapping Package for Scientists and Engineers, 2002.

TABALIPA, Ney Lyzandro. **Proposta para o desenvolvimento urbano do município de Pato Branco, Paraná, baseada em critérios geológicos e geomorfológicos**. 2002. 147 f. Dissertação (Pós Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

TABALIPA, Ney Lyzandro; FIORI, Alberto Pio. **Estudo do clima do município de Pato Branco, Paraná**. Revista Synergismus Scyentifica UTFPR, Pato Branco, v.3, n.4, 2008. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/viewArticle/287>> Acesso dia: 11/07/2014.

XAVIER, Silval C. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: estudo de caso para Pelotas (RS)**. 2010. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.