



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES E  
GESTÃO TERRITORIAL

DAYANI DELLA GIUSTINA MICHELS

**Mapeamento Geotécnico para elaboração de Cartas de Aptidão para área  
urbana de Braço do Norte/SC**

Florianópolis  
2020

Dayani Della Giustina Michels

**Mapeamento Geotécnico para elaboração de Cartas de Aptidão para área  
urbana de Braço do Norte/SC**

Dissertação submetido ao Programa de Engenharia de Transportes e Gestão Territorial da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.  
Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto do Reis Higashi

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Michels, Dayani Della Giustina  
Mapeamento Geotécnico para elaboração de Cartas de  
Aptidão para área urbana de Braço do Norte/SC / Dayani  
Della Giustina Michels ; orientador, Rafael Augusto do  
Reis Higashi, 2020.  
166 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Transportes e Gestão Territorial,  
Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Transportes e Gestão Territorial. 2.  
Sistemas de Informações Geográficas (SIG). 3. Sondagens  
SPT. 4. Mapa geotécnico. 5. Cartas de tipo de solo e  
aptidão para fundação.. I. Higashi, Rafael Augusto do Reis  
. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão  
Territorial. III. Título.

Dayani Della Giustina Michels

**Mapeamento Geotécnico para elaboração de Cartas de Aptidão para área urbana de Braço do Norte/SC**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Everton da Silva, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Juan Antonio Altamirano Flores, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>a</sup>. Regina Davison Dias, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial.

---

Prof.(a) Ana Maria Benciveni Franzoni, Dra.

Coordenadora do Programa

---

Prof. Rafael Augusto do Reis Higashi, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2020

Dedico esta, bem como todas as minhas conquistas, à Deus, ao meu pai Dani e minha mãe Rosi, por serem a essência da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado realidade e aos quais estarei eternamente grata.

Primeiramente agradeço meus pais, Dani e Rosi, sem os quais nada disse seria possível, os que me apoiam em qualquer tomada de decisão e me incentivam a ser uma pessoa melhor. Foram eles que por muitas vezes sacrificaram seus sonhos para que os meus fossem realizados. Obrigada!

Desejo igualmente agradecer toda a minha família pelo apoio incondicional que me deram, especialmente a minha querida prima Luiza e minha tia Zete principal incentivadora a nunca deixar de buscar conhecimento, por todo seu carinho e atenção, por seu incansável esforço para que me tornasse mestre. Ao meu tio Bera por apoiar e abraçar as causas de minha querida tia.

Aos meus verdadeiros amigos, os quais entenderam a minha ausência e torcem pela minha vitória.

Aos alunos da turma do Mestrado, os quais pude compartilhar conhecimento e vivenciar momentos de estudo e vida. Aos colegas que compartilharam viagens e madrugadas até Floripa.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial pela oportunidade em desenvolver o presente trabalho, bem como permitir meu crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

Ao meu orientador Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi, pelos conhecimentos transmitidos, pela confiança no meu trabalho, pela paciência e compreensão.

Às empresas, engenheiros e geólogos que foram colaboradores durante a pesquisa e reconhece a importância do âmbito acadêmico durante a vida profissional. Aos profissionais da FUNBAMA, que são verdadeiros amigos e se fizeram presentes durante esse percurso, entendendo meu propósito e me oferecendo total suporte técnico e apoio.

“Quando não souberes para onde ir, olha para trás e sabe pelo menos de onde vens”  
(Provérbio africano).

## RESUMO

Devido a importância do conhecimento geotécnico no planejamento urbano das cidades, a presente pesquisa possui como tema principal a elaboração do mapa geotécnico do perímetro urbano de Braço do Norte/SC, bem como o desenvolvimento de cartas de tipos de solo e aptidão para fundações. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG e um banco de dados de sondagens SPT (*Standard Penetration Test*). Primeiramente foi confeccionado os seguintes mapas temáticos: hipsométrico, de declividade, hidrográfico, pedológico e geológico. Na sequência, empregou-se a metodologia de Davison Dias (1995) com a sobreposição das informações pedológicas, litológicas e topográficas para a criação do mapa geotécnico. Para a redefinição e validação das unidades geotécnica fez-se uso do banco de dados de sondagens do tipo SPT e sondagens simples à trado. A estruturação do banco de dados de sondagens à percussão se deu através de 218 laudos de sondagens, os quais passaram por uma sequência de tratamentos como a digitalização e georreferenciamento dos furos. Posteriormente, de posse do banco de dados finalizado, utilizou-se a geoestatística para criação das cartas de tipo de solo, profundidade do lençol freático e impenetrável à percussão, orientação para o tipo de fundação, tensão admissíveis para fundação superficial, comprimento máximo das estacas e isolinhas de  $N_{SPT}$ . Conclui-se que o perímetro urbano de Braço do Norte/SC é constituído de oito unidade geotécnicas com predominância para unidades com solos Podzólicos Vermelho-Amarelo e substratos sedimentos quaternários e granito. Por meio das cartas de aptidão para fundação observou-se que os solos da área de estudo possuem uma maior resistência e granulometria nas camadas mais profundas. E ainda, as áreas onde estão localizadas as menores profundidades de impenetrável também apresentam o lençol freático menos profundo. Ressalta-se a importância do presente trabalho nas tomadas de decisões futuras, tanto na esfera pública tal como na esfera privada.

**Palavras-chave:** Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Sondagens SPT. Mapa geotécnico. Cartas de tipo de solo. Cartas de aptidão para fundações.

## ABSTRACT

Considering the importance of geotechnical knowledge in urban planning of cities, this research has as its main theme the elaboration of the geotechnical map of the urban perimeter of Braço do Norte / SC, as well as the development of soil type charts and tests for foundations. For the development of the research, we used geoprocessing techniques in the GIS environment and a database of surveys SPT (Standard Penetration Test). Firstly, the following thematic maps were made: hypsometric, slope, hydrographic, pedological and geological. Then, use Davison Dias (1995) methodology with an overlap of pedological, lithological and topographic information for the creation of geotechnical maps. For redefining and validating geotechnical units, the use of SPT drillhole database and simple database drilldowns. The structuring of the percussion drill database was carried out through 218 drill reports, which are given by a sequence of steps such as digitization and hole georeferencing. Subsequently, the possession of the finalized database, uses geostatistics to create soil type charts, depth of the water table and impenetrable to percussion, orientation for the type of foundation, allowable tension for surface installation, maximum limit of piles and isolated from N\_SPT. It was concluded that the urban perimeter of Braço do Norte / SC consists of eight geotechnical units with a predominance of units with Red-Yellow Podzolic units and quaternary sedimentary substrates and granites. Through foundation skill cards found in study areas that have greater strength and granulometry in the deepest layers. Still, as areas where they are located as the lowest impenetrable depths also have the shallowest water table. We emphasize the importance of this work in future decision making, both in the public and private spheres.

**Keywords:** Geographic Information Systems (GIS). Standard Penetration Test SPT. Geotechnical map. Soil type letters. Charter letters for foundations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Horizontes/camadas do perfil do solo .....	20
Figura 2 - Evolução do solo.....	22
Figura 3 - Equipamento para a realização do ensaio de simples reconhecimento - SPT .....	35
Figura 4 - Perfil individual de sondagem. ....	37
Figura 5 - Estimativa do NSPT médio .....	40
Figura 6 - Bulbo de tensão no solo provocado pelas sapatas. ....	41
Figura 7 - Subsistemas de um Sistema de Informação Geográfico. ....	43
Figura 8 - Formas de dados gráficos no SIG. ....	44
Figura 9 – Projeto de um banco de dados em ambiente SIG.....	45
Figura 10 - Semivariograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros.....	48
Figura 11 - Localização da área de estudo. ....	53
Figura 12 – Limite administrativo do perímetro urbano de Braço do Norte. ....	54
Figura 13 - Fluxograma de metodologia para desenvolvimento da pesquisa.....	56
Figura 14 - Georreferenciamento dos furos de sondagem.....	59
Figura 15 - Análise do furo 177 com NA=0,00m. ....	61
Figura 16 - Análise dos furos 150 e 151 com NA=0,00m.....	61
Figura 17 – Exemplo da tabela de atributos do banco de dados oriundos das sondagens SPT. .....	63
Figura 18 - Mapa Hipsométrico.....	66
Figura 19 – Mapa de declividade. ....	67
Figura 20 - Mapa da hidrografia.....	69
Figura 21 – Mapa Pedológico.....	71
Figura 22 – Mapa Geológico. ....	72
Figura 23 - Localização das tradagens. ....	74
Figura 24 – Amostra de solos dos 30cm finais – tradagens simples. ....	75
Figura 25 – Amostra de solos dos 30cm finais – tradagens simples. ....	76
Figura 26 – Amostra de solos dos 30cm finais – tradagens simples. ....	77
Figura 27 - Modelo esquemático para delimitação da unidade Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granitoide (PVgd). ....	79
Figura 28 - Modelo esquemático para delimitação da unidade solos aluvionares de sedimentos quaternários (Asq). ....	80

Figura 29 - Critérios de seleção do furo mais crítico do grupo. ....	81
Figura 30 – Modelos de semivariograma. ....	82
Figura 31 – Perfil estratigráfico - furos 46 e 117 .....	89
Figura 32 – Perfil estratigráfico- furos 163, 133 e 98 .....	90
Figura 33 – Perfil estratigráfico- furos 11, 87, 16 e 75. ....	91
Figura 34 – Perfil estratigráfico furos 106, 54, 105, 110 e 108.....	92
Figura 35 – Unidades litológicas e pedológicas .....	93
Figura 36 – Mapa Geotécnico Final. ....	94
Figura 37 - Carta de tipos de solo: 1m de profundidade. ....	96
Figura 38 - Carta de tipos de solo: 3m de profundidade. ....	97
Figura 39 - Carta de tipos de solo: 5m de profundidade. ....	99
Figura 40 - Carta de tipos de solo: 7m de profundidade. ....	100
Figura 41 - Carta de tipos de solo: 9m de profundidade. ....	101
Figura 42 - Carta de tipos de solo: 11m de profundidade. ....	102
Figura 43 - Carta de tipos de solo: 13m de profundidade. ....	103
Figura 44 - Carta de tipos de solo: 15m de profundidade. ....	104
Figura 45 - Carta de tipos de solo: 17m de profundidade. ....	105
Figura 46 - Carta de tipos de solo: 19m de profundidade. ....	106
Figura 47 - Carta de tipos de solo: 21m de profundidade. ....	107
Figura 48 - Carta de tipos de solo: 23m de profundidade. ....	108
Figura 49 - Carta de tipos de solo: 25m de profundidade. ....	109
Figura 50 - Resultado das interpolações dos solos em cada profundidade. ....	111
Figura 51 - Profundidade do lençol freático - Sondagens SPT. ....	113
Figura 52 - Profundidade do lençol freático - sondagens SPT + hidrografia.....	114
Figura 53 - Cota do lençol freático - SPT + hidrografia. ....	116
Figura 54 - Profundidade do impenetrável à percussão. ....	117
Figura 55 - Cota do impenetrável à percussão. ....	119
Figura 56 - Orientação para fundação - Prof. = 1m.....	120
Figura 57 - Orientação para fundação - Prof. = 2m.....	121
Figura 58 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 1m.....	124
Figura 59 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 2m.....	125
Figura 60 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 3m.....	126
Figura 61 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 4m.....	127
Figura 62 - Comprimento máximo estimado para estaca pré-moldada ( $\varnothing < 30\text{cm}$ ). ....	129

Figura 63 - Comprimento máximo estimado para estaca pré-moldada ( $\varnothing \geq 30\text{cm}$ ). .....	130
Figura 64 - Comprimento máximo estimado para estaca strauss. ....	131
Figura 65 - Comprimento máximo estimado para estaca hélice contínua.....	132
Figura 66 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 1m de profundidade. ....	134
Figura 67 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 3m de profundidade. ....	135
Figura 68 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 5m de profundidade. ....	136
Figura 69 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 7m de profundidade. ....	137
Figura 70 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 9m de profundidade. ....	138
Figura 71 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 11m de profundidade. ....	139
Figura 72 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 13m de profundidade. ....	140
Figura 73 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 15m de profundidade. ....	141
Figura 74 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 17m de profundidade. ....	142
Figura 75 - Figura 74 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 19m de de profundidade.....	143
Figura 76 - Figura 74 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 21m de de profundidade.....	144
Figura 77 - Figura 74 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 23m de profundidade.....	145
Figura 78 - Isovalores de $N_{\text{SPT}}$ - Prof. = 25m de profundidade. ....	146
_Toc36482394Figura 79 - Isovalores de para todas as profundidades .....	148
Figura 80 - Resolução espacial.....	150

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características do horizonte/camada principais dos solos .....	22
Quadro 2 - Nomenclatura, principais características e classificação anteriores.....	27
Quadro 3 - Simbologia simplificada das classes pedológicas. ....	33
Quadro 4 - Simbologia simplificada das classes litológicas.....	33
Quadro 5 - Estado de compactação e de compactação .....	38
Quadro 6 – Relação entre forma e dimensão da sapata com a profundidade do bulbo de tensão. .....	40
Quadro 7 - Valores limites de NSPT para paradas das estacas.....	42
Quadro 8 - Vantagens, desvantagens, quando usar e quando não usar a krigagem. ....	50
Quadro 9 - Resolução espacial obtidas em estudos realizados.....	52
Quadro 10 – Dados, fonte, formato, ano e escala dos dados obtidos. ....	57
Quadro 11 - Atributos inseridos manualmente no banco de dados. ....	60
Quadro 12 - Atributos adotados a granulometria .....	62
Quadro 13 - Atributos obtidos a partir do cruzamento dos dados gráficos ao banco de dados. .....	63
Quadro 14 – Informações gráficas tratadas e importadas em ambiente SIG.....	64
Quadro 15 - Classes do relevo segundo Embrapa (2014). ....	67
Quadro 16 - Associação entre a Geologia e a Litologia predominante. ....	73
Quadro 17 - Número mínimo de observações e distância entre os pontos.....	87

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequência das unidades geotécnicas: preliminar x final.....	95
Tabela 2 - Porcentagem de área para cada tipo de solo.....	110
Tabela 3 - Frequência de área para a profundidade do lençol freático.....	115
Tabela 4 - Frequência da profundidade impenetrável.....	118
Tabela 5 - Frequência de área para o tipo de fundação.....	122
Tabela 6 - Porcentagem da área para as faixas de tensão admissível.....	128
Tabela 7- Frequência de área para os comprimentos máximos das estacas.....	133
Tabela 8 - Frequência de área para as faixas de NSPT.....	147

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Asq - Depósitos Aluvionares de substrato sedimentos quaternários
- Ca - Cambissolo de substrato arenito
- CE – Ceará
- Cg - Cambissolo de substrato granito
- Cgd - Cambissolo de substrato granitóide
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- CPT - Ensaio de Penetração de Cone
- CPTU - Ensaio de Penetração de Piezocone
- DMT – *Dilato Meter Test*
- dwg* - Extensão de arquivos utilizada no domínio CAD para SHP
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa
- GEOLOGIA.GIS – Plataforma digital de dados, informações e produtos da CPRM
- GIS - *Geographic Information System*
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo
- MDT - Modelo digital do terreno
- NA – Nível d'água
- NBR – Norma Brasileira
- Ni – Granito Imaruí-Capivari
- Nrl – Granito Santa Rosa de Lima
- QHa – Depósitos Aluvionares
- PB – Paraíba
- PMBN - Prefeitura Municipal de Braço do Norte
- PVa - Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato arenito
- PVg - Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito
- PVgd - Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granitóide Santa Rosa de Lima
- PVsq - Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato sedimentos quaternários
- Prs – Formação Rio do Sul
- S - Sul
- SDS - Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável
- shp* - Shapefile, extensão utilizada pelo ArcGIS®

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SPT - *Standard Penetration Test*

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNESCO - Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

USA – *United States of American*

UTM - Universal Transversa de Mercator

WGS 84 - World Geodetic System

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A_s$  – Área superficial

$N_{SPT}$  - Índice de resistência à penetração do ensaio SPT. Número de golpes correspondente à cravação de 30 cm do amostrador-padrão, após a cravação inicial de 15 cm.

$\sigma_{adm}$  - Tensão admissível à compressão do solo.

$N$  - Índice de resistência à penetração.

$\emptyset$  – Diâmetro

$\gamma$  - Variância experimental.

$z(x_i)$  - Valor da variância medida na posição  $x_i$ .

$h$  - Distância que separa duas amostras.

$i$  - Posição das amostras

$N(h)$  - Número de pares de dados para a distância de separação.

$R$  - Resolução espacial de dados georreferenciados.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS .....	17
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS .....	18
2.1.1	<b>Classificação Geológica .....</b>	<b>18</b>
2.1.2	<b>Classificação Pedológica.....</b>	<b>19</b>
2.1.3	<b>Principais características morfológicas dos horizontes.....</b>	<b>23</b>
2.1.3.1	<i>Cor.....</i>	23
2.1.3.2	<i>Textura.....</i>	24
2.1.3.3	<i>Estrutura.....</i>	24
2.1.3.4	<i>Consistência.....</i>	25
2.1.4	<b>Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS.....</b>	<b>26</b>
2.2	MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	30
2.2.1	<b>METODOLOGIA PROPOSTA POR DAVISON DIAS (1995).....</b>	<b>32</b>
2.3	INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO.....	34
2.3.1	<b><i>Standard Penetration Test - SPT .....</i></b>	<b>35</b>
2.3.1.1	<i>Parâmetros e correlações.....</i>	38
2.4	SIG E BANCO DE DADOS .....	42
2.5	SIG E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.....	44
2.6	ANÁLISE ESPACIAL DE SUPERFÍCIES .....	46
2.6.1	<b>Krigagem .....</b>	<b>47</b>
2.6.2	<b>Resolução espacial .....</b>	<b>51</b>
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>52</b>

3.1	FATORES CLIMÁTICOS .....	54
3.2	ASPECTOS FÍSICOS .....	55
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO .....</b>	<b>55</b>
4.1	LEVANTAMENTO E COLETA DE DADOS PREEXISTENTES .....	56
4.2	TRATAMENTO DE DADOS .....	57
<b>4.2.1</b>	<b>Dados gráficos .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Sondagem SPT, criação e ajustes do banco de dados .....</b>	<b>58</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Investigação a campo .....</b>	<b>64</b>
4.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS .....	64
<b>4.3.1</b>	<b>Elaboração dos mapas temáticos .....</b>	<b>65</b>
4.3.1.1	<i>Mapa Hipsométrico .....</i>	65
4.3.1.2	<i>Mapa de declividade .....</i>	66
4.3.1.3	<i>Mapa da hidrografia .....</i>	68
<b>4.3.2</b>	<b>Mapeamento Geotécnico .....</b>	<b>69</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Aplicação da geoestatística .....</b>	<b>81</b>
4.3.3.1	<i>Cartas de tipos de solo .....</i>	82
4.3.3.2	<i>Cartas de aptidão para fundações .....</i>	83
4.3.3.2.1	Cartas de profundidade estimada do lençol freático .....	83
4.3.3.2.2	Cartas de profundidade estimada do impenetrável à percussão .....	83
4.3.3.2.3	Cartas de orientação para o tipo de fundação .....	84
4.3.3.2.4	Cartas de tensão admissível para fundação superficial .....	85
4.3.3.2.5	Cartas de comprimento máximo estimado das estacas .....	85
4.3.3.2.6	Cartas de isolinhas de <i>NSPT</i> .....	86
4.4	VALIDAÇÃO DOS DADOS E RESOLUÇÃO ESPACIAL .....	86
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>88</b>
5.1	BANCO DE DADOS E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO .....	88
<b>5.1.1</b>	<b>Mapeamento Geotécnico .....</b>	<b>92</b>
5.2	CARTAS DE TIPO DE SOLO .....	95

5.3	MAPAS DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÕES.....	112
5.3.1	Cartas de profundidade estimada do lençol freático.....	112
5.3.2	Cartas de profundidade estimada do impenetrável à percussão.....	116
5.3.3	Cartas de orientação para o tipo de fundação .....	119
5.3.4	Cartas de tensão admissível para fundação superficial .....	123
5.3.5	Cartas de comprimento máximo estimado das estacas .....	128
5.3.6	Cartas de isovalores de NSPT.....	133
5.4	VALIDAÇÃO, LIMITAÇÕES E APRIMORAMENTOS DOS RESULTADOS 149	
6	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>151</b>
6.1	CONCLUSÕES .....	151
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	154
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>155</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das cidades no Brasil tem sido acentuado nas últimas décadas. Em menos de um século o país passou de rural para essencialmente urbano devido algumas políticas desenvolvimentistas que intensificaram o processo de urbanização.

A ocupação indiscriminada das cidades sem o devido planejamento e conhecimento do meio físico implicam em consequências negativas, colocando em risco a população e gerando um pesado ônus ao poder público, além de promover o desequilíbrio social e ambiental.

Os problemas relacionados a urbanização acelerada são muitas vezes produtos da interferência do homem na natureza, devido a exploração e maximização dos lucros sem se preocupar com as consequências, a ocupação de áreas de planícies sujeitas a inundações, áreas com declividades acentuadas, encostas de morros e de solos suscetíveis aos processos geológicos.

Em razão dos efeitos negativos, oriundos da intensa urbanização, gerou-se uma preocupação da administração pública, empresas privadas e do universo acadêmico em desenvolver ferramentas para a redução dos problemas enfrentados pelas cidades, de modo a proporcionar à população qualidade de vida social e ambiental.

Com o objetivo de orientar o planejamento urbano e auxiliar na prevenção de problemas futuros desenvolveu-se o mapeamento geotécnico, que consiste em uma metodologia onde se determina as características do solo, da rocha e da morfologia do relevo de cada unidade geotécnica.

O referido mapeamento associado aos sistemas de geoprocessamento no meio digital, em especial os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tem-se mostrado como um importante subsídio ao planejamento do espaço físico, a conservação e a proteção dos recursos naturais, a segurança das edificações e da população, as obras de infraestrutura, a otimização na aplicação dos recursos públicos e privados, ao mapeamento de áreas com risco geológico, a orientação de estudos e ensaios para projetos de engenharia, bem como uma melhor estimativa de custos na implantação de empreendimentos.

Ressalta-se, ainda, que o uso de técnicas de geoprocessamento contribui para aprimoramento e confecção de mapas geotécnicos mais robustos e confiáveis, permitindo a manipulação de grandes números de dados gráficos e alfanuméricos. A utilização integrada de um banco de dados com informações pedológica e geológicas, com os SIGs facilitam o armazenamento e a visualização dos parâmetros geotécnicos de uma determinada região,

permitindo a aplicação desde o planejamento e execução de obras até o diagnóstico do meio físico.

Destaca-se também, a importância do diagnóstico do meio físico na área da construção civil uma vez que o solo é dado como o suporte para as edificações. O conhecimento de suas características é indispensável em todas as fases da obra, principalmente durante a elaboração do projeto de fundações. A ausência ou a insuficiente de investigações do subsolo é considerada a principal causa de recalques nas fundações, principalmente nas obras de pequeno e médio porte. Para Christ (2013) os recalques sofridos em uma edificação podem gerar desde pequenas fissuras até um grande abalo à estrutura.

Desse modo, torna-se importante o mapeamento geotécnico a fim de contribuir com o planejamento urbano, gerado a partir de sistematização das informações de natureza geotécnica existentes um banco de dados de sondagens *Standard Penetration Test* (SPT).

As metodologias utilizadas neste trabalho são apresentadas por Davison Dias (2001), Higashi (2006) no âmbito do mapa geotécnico e Thiesen (2016) e Santos (2016) no âmbito das cartas de solo e aptidões. Para Thiesen (2016) a metodologia de elaboração das cartas de aptidão com a incorporação de dados de sondagem SPT é mundialmente conhecida no âmbito acadêmico e prático.

Utilizou-se da sobreposição dos dados pedológicos e litológicos para a delimitação preliminar das unidades geotécnicas do perímetro urbano de Braço do Norte/SC, sendo redefinidas e validadas com auxílio de sondagens à trado, modelo digital do terreno e incorporação dos dados de sondagens SPT, onde gerou-se como resultado o mapa geotécnico final.

Além do mapa geotécnico final, tem-se como resultado deste trabalho as cartas de tipos de solo para cada profundidade e as cartas de aptidão para fundações. Tais cartas foram elaboradas a partir de correlações extraídas do banco de dados de ensaios SPT.

A elaboração do mapeamento geotécnico final, das cartas digitais dos tipos de solo em diversas profundidades e das cartas de aptidão para fundação, desenvolvidas por meio de análises geoestatísticas visam contribuir como suporte técnico aos gestores frente às diretrizes aplicadas ao ordenamento do crescimento e, ainda, as empresas privadas e profissionais que contarão com informações relevantes nas análises iniciais para as novas construções.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

A presente pesquisa tem como objetivo principal o desenvolvimento das cartas de tipos de solo e de aptidão para fundação para a área urbana de Braço do Norte/SC a partir de banco de dados estruturado com laudos de sondagens SPT e métodos geoestatísticos em ambiente SIG.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Corroborar com o desenvolvimento dos mapas de tipos de solo e aptidão para fundação do município de Braço do Norte;
- b) Auxiliar os projetos de engenharia, através de subsídios de informações acerca dos tipos de solos encontrados no perímetro urbano de Braço do Norte/SC.
- c) Orientar projetos de fundações com base no desenvolvimento de cartas de aptidão para fundação para a área de estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Devido a diversidade e os diferentes comportamentos dos solos, se faz necessária a classificação e o agrupamentos em conjuntos de propriedades semelhantes.

Para Pinto (2000) o conhecimento do solo na engenharia é um requisito prévio para qualquer obra, sendo indispensável para a prática de uma “boa engenharia”. Uma vez que toda obra de engenharia se assenta sobre um terreno, o conhecimento da formação geológica, estudo das rochas, solos, minerais que compõe, bem como a presença da água devem ser devidamente considerados. Podendo, assim, estimar-se prováveis comportamentos dos solos e orientar investigações frente a problemas.

Existem diversas formas de classificar os solos, por sua origem, evolução, presença ou não de matéria orgânica, estrutura e preenchimento dos vazios. A presente pesquisa descreverá e classificará o solo estudado na esfera geológica e pedagógica, visto que tais características são indispensáveis para o devido reconhecimento do mesmo e para a elaboração do mapa geotécnico da região.

#### 2.1.1 Classificação Geológica

Os solos existentes, segundo Oliveira et al. (1992), refletem sua história, são formados a partir de rochas intemperizadas e matéria orgânica em um processo complexo que incluem reações e rearranjos. Jenny (1941 apud FREIRE, 2006) e Oliveira et al. (1992) afirmam que o solo é produto da interação do material de origem e de alguns fatores como: clima, relevo, comunidade biótica e tempo.

Os solos formados a partir da rocha e do processo de formação podem ser classificados, geologicamente, em solos residuais (“*in situ*”) e solos sedimentares (transportados).

Os solos residuais, segundo Salomão e Antunes (1998), são formados a partir da decomposição das rochas de origem que permaneçam no local onde foram formados, “*in situ*”, sem sofrer qualquer tipo de transporte. Para que eles se formem é necessário que a velocidade de decomposição da rocha seja maior do que a velocidade de remoção por agentes externos. Em regiões de clima tropical, como na maior parte do Brasil, os solos residuais apresentam-se, quase sempre, com espessura da ordem de dezenas de metros, uma vez que as condições do clima são favoráveis a degradação da rocha (PINTO, 2000).

De acordo com Vargas (1978), os solos residuais podem ocorrer em até três camadas, as quais apresentam transição gradativa e decrescente:

- a) Solo residual maduro: apresenta um horizonte “poroso” e “húmico” e que perdeu todas as características da rocha de origem, tornando-se homogêneo.
- b) Saprolito, solo saprolítico, solo residual jovem ou solo de alteração da rocha: apresenta as características da rocha-mãe, veios intrusivos, fissuras e xistosidade, porém perdeu a consistência da rocha.
- c) Rocha alterada: horizonte onde a alteração da rocha progrediu ao longo de fraturas ou zonas de menor resistência, preservando alguns grandes blocos da rocha-mãe.

Os solos sedimentares ou transportados são aqueles que foram conduzidos por agentes geológicos, do local onde se originaram até o local onde foram depositados, não tendo ainda sofrido consolidação (PASTORE e FORTES, 1998). Os tipos de solos sedimentares diferenciam-se pelo seu agente transportador, podendo ser classificados em: solos aluvionares quando transportado por curso d’água; terraços fluviais também formados pela condução dos cursos d’água, porém em tempos passados; tálus resultante da ação da água e da gravidade, localizam-se nos pés de encostas e elevações, são compostos por blocos de rochas de variados tamanhos; sedimentos marinhos formados em ambientes de praia ou de mangues e os solos eólicos formados a partir da ação do vento.

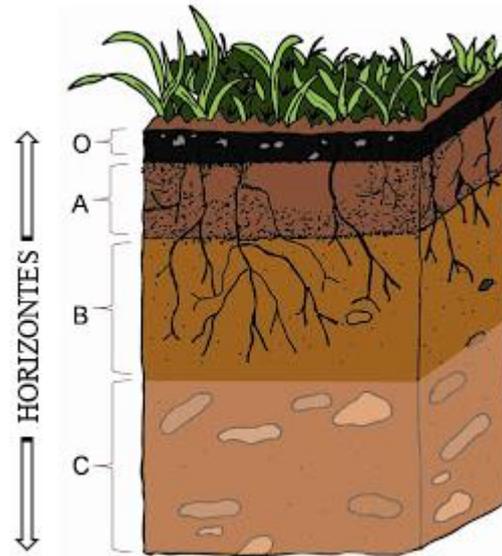
Os solos residuais e sedimentares diferenciam-se através de um conjunto de análises. Santos (2016) apresenta a diferenciação através da coloração, resistência, relevo e declividade. Os solos residuais apresentam coloração variando para tons quentes, como vermelho, amarelo, marrom, assim como variegado, aumento de resistência crescente com a profundidade e localizados geralmente nas partes mais elevadas da encosta. Por sua vez, os solos sedimentares apresentam coloração em tons frios, cinza, branco, verde e azul, uma variação de resistência entre suas camadas, não apresentando resistência crescentes e localizados em pé de morro ou superfície plana.

### **2.1.2 Classificação Pedológica**

A pedologia, segundo Santos (2015), é a ciência que estuda a origem, a morfologia e a classificação do solo. A classificação pedológica pode ser definida como a classificação do perfil do solo desde a superfície da terra até o material de origem.

O perfil do solo, Figura 01, é definido por Lepsch (2010) como a sessão vertical da superfície até o material geológico, composto pela sequência de horizontes e/ou camadas. Os horizontes e/ou camadas são aproximadamente paralelas à superfície, organizadas de modo que se distinguem do material de origem inicial, devido a adições, perdas, translocações e transformações que ocorrem ao longo do tempo e sob a influência dos fatores clima, organismos e relevo.

Figura 1 – Horizontes/camadas do perfil do solo



Fonte: adaptado de [biorocha.blogspot.com.br/2011/09/excertos-da-tese-avaliacao-da.html](http://biorocha.blogspot.com.br/2011/09/excertos-da-tese-avaliacao-da.html).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa - EMBRAPA (2014) apresenta que os horizontes refletem os processos de formação do solo a partir do intemperismo do substrato rochoso ou de sedimentos de natureza diversa. Já as camadas, por sua vez, são pouco ou nada afetadas pelos processos pedogenéticos, mantendo, em maior ou menor proporção, as características do material de origem.

Para Lepsch (2010) o primeiro passo para a identificação de um solo é o exame de seus horizontes, sendo que a presença ou ausência de certos tipos de horizontes é essencial para definir a classe taxonômica.

A análise dos horizontes, para efeito de mapeamento e confirmação dos limites de unidades, segundo IBGE (2015), pode ser feita em cortes de estrada, voçorocas, ravinas, poços e outras aberturas que possibilitem a identificação. O autor recomenda a busca de um local onde o perfil esteja contendo toda a sequência de horizontes, principalmente o horizonte A, e o relevo esteja livre de interferências, como o depósito de entulhos e/ou decapitado.

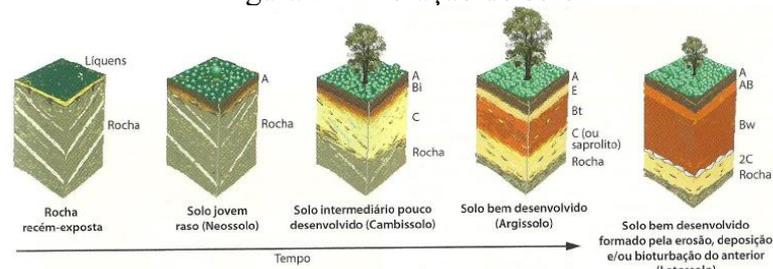
Os perfis devem ser avaliados em um volume mínimo, de modo que possibilitem estudar a variabilidade dos atributos, propriedades e características. O IBGE (2015) apresenta as formas mais comuns de exame e coleta de solos em campo:

- d) Aproveitamento de barrancos de estradas ou de outros tipos de cavidade: é um método mais utilizado, uma vez que apresenta custos baixos e exames rápidos permitindo a análise de todo o perfil do solo na extensão vertical, dentro dos limites de profundidade necessário;
- e) Exame de trincheiras: utilizado em locais desprovido de cortes de estradas, esse método caracteriza pela abertura de uma cavidade ou buraco, quase sempre paralelepípedo, de modo que possibilite o exame e a caracterização do perfil do solo.
- f) Utilizado de trados: assim como as trincheiras esse método é utilizado em locais onde os cortes de estradas não se fazem presentes. É realizado a investigação com um trado, o qual é considerado uma ferramenta quase insubstituível na tarefa de checagem de limites entre classes de solos e, na averiguação de sequência de horizontes, cores, textura, profundidade de lençol ou de camadas impeditivas, principalmente.

Após a escolha, limpeza, regularização e registro fotográfico do perfil, inicia-se a identificação dos horizontes e/ou camadas. A nomenclatura e as características de cada horizonte e/ou camada são trazidas por Achterberg (2014), IBGE (2015), Oliveira et al. (1992) Santos (2016) e expostas resumidamente no Quadro 1.

Além dos horizontes principais podem ocorrer horizontes de translação, cujas características dos horizontes adjacente e subjacente se fundem. Quanto a quantidade de horizontes, segundo Lepsch (2010), varia de acordo com os diferentes tipos de solos, podendo ser maduro ou jovem, conforme representado na Figura 2. Os solos maduros são aqueles que perderam a estrutura original da rocha e tornaram-se relativamente homogêneos, podendo apresentar todos os horizontes principais. Enquanto que os solos jovens, mantêm a estrutura da rocha de origem e apresentam um perfil incompleto, as vezes não apresentam o horizonte E ou B. Quando há ausência do horizonte B considera-se o solo pouco desenvolvido ou com perfil incompleto, uma vez que esse horizonte é essencial para a denominação de solo bem desenvolvido.

Figura 2 - Evolução do solo



Fonte: Lepsch, 2010.

Quadro 1 - Características do horizonte/camada principais dos solos

Horizonte	Principais características dos horizontes/camadas
O	Horizonte ou camada orgânica superficial, sobrepostos a alguns solos minerais, constituído de restos orgânicos pouco ou não decompostos, formado em ambientes bem drenados ou, ocasionalmente, em locais saturados com água.
H	Horizonte ou camada de constituição orgânica, superficial ou não, denominado horizonte hístico. É composto de resíduos orgânicos acumulados ou em acumulação sob condições de prolongada ou permanente estagnação de água, salvo se artificialmente drenado. Tem origem em ambientes alagadiços, como várzeas ou depressões (banhados e brejos). Como exemplo desse horizonte tem-se as turfas.
A	Horizonte mineral, podendo ser superficial ou em sequência de horizonte ou camada O ou H. É o horizonte que apresenta a maior atividade biológica e é constituído basicamente de húmus e rocha alterada, sendo onde desenvolve-se a maior parte das raízes e vivem os organismos decompositores. Geralmente apresenta cores mais escuras que os horizontes subjacentes e na maioria dos solos brasileiros possuem menos de 50 cm de espessura.
E	Horizonte mineral caracterizado pela perda de minerais da argila, óxidos de ferro, alumínio ou matéria orgânica, individualmente ou em conjunto, com resultante concentração residual de areia e silte, constituídos de quartzo ou outros minerais resistentes e/ou resultante de decoloramento. Situa-se geralmente abaixo do horizonte A, apresentando cor mais clara.
B	Horizonte mineral superficial, situado sob horizonte E, A e/ou, raramente, H. É formado por transformações acentuadas do material de origem e/ou pelo ganho de constituintes minerais e orgânicos oriundos dos horizontes situados acima. Apresenta propriedades pedogenética mais estáveis, coloração vermelha, amarela ou cinza.
C	Horizonte ou camada também conhecidos por saprolítico ou alterita, apresenta-se como material mineral inconsolidado sob os horizontes A e B, ou apenas A quando não dispor do horizonte B. Apresenta-se com a alteração inicial da rocha de origem, possuindo muitas de suas características, uma vez pouco foram afetados pelos processos de intemperismo.
R	Camada mineral constituído de substrato rochoso, também conhecido como rocha sã, rocha matriz ou inalterada, podendo ser contínuo, ou praticamente contínuo, devido as poucas e estreitas fendas que pode apresentar. É a camada que deu origem ao solo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Uma vez que os horizontes e/ou camadas diferenciam-se um dos outros pelas variações das diversas características morfológicas (cor, estrutura, textura e consistência), é de suma importância o seu conhecimento.

### **2.1.3 Principais características morfológicas dos horizontes**

A morfologia de solos ou anatomia do solo, assim descrita por Lepsch (2010), é definida como o estudo da aparência do solo e sua descrição através das características perceptíveis a olho nu ou sensível ao tato. Freire (2006) defini a análise morfológica como o exame *in situ* das propriedades do solo e sua relação com o relevo, vegetação, material-de-origem e clima.

O exame morfológico fornece dados muito importantes para a identificação dos solos e seus horizontes, constituindo a base fundamental para a sua correta identificação.

#### *2.1.3.1 Cor*

É considerada por muitos autores como a característica do solo de mais fácil visualização e de grande importância, uma vez que as várias tonalidades no perfil ressaltam algumas características. Apesar de ter pouca ou nenhuma correlação com o comportamento do solo, a cor está relacionada com as características mineralógicas, físicas e químicas do solo, possibilitando a correlação entre suas características e comportamento do material (OLIVEIRA et al., 1992).

Um solo argiloso vermelho, provavelmente, apresenta uma boa drenagem interna, com alto teor de óxidos de ferro. Solos cinzentos indicam a retenção de água e geralmente são pobres em matéria orgânica. Solos de cores escuras costumam apresentar altos teores de restos orgânicos decompostos (FREIRE, 2006).

A anotação da cor é feita através da comparação de um determinado fragmento do solo com uma escala padronizada de cores. A escala mais utilizada é a Escala de Munsell, que consiste em 170 cores organizadas em folhas. Ao encontrar a cor mais próxima da amostra anota-se três elementos básicos que a compõe: matriz (hue), valor (value) e croma (chroma) ou intensidade da cor.

### 2.1.3.2 *Textura*

A textura, na pedologia, refere-se à proporção relativa das frações de areia, silte e argila contido em uma amostra do solo. Dificilmente um horizonte é constituído de apenas uma granulometria, mas de uma combinação entre elas, definindo assim a classe de textura (LEPSCH, 2010).

Existem dois métodos para a determinação da classe textural, o método de campo e o método de laboratório. O método de campo pode ser utilizado para a descrição morfológica do solo (FREIRE, 2006).

Para o IBGE (2015) o método de campo é realizado em uma amostra de solo molhada, através da sensação de tato, esfregando-se a amostra entre os dedos depois de amassada e homogeneizada. Freire (2006) explica que a amostra deve ser umedecida para possibilitar o destorroamento e assim avaliar a plasticidade e pegajosidade.

Lepsch (2010) traz a seguinte correlação entre o tato e as frações: o predomínio de areia, apresenta a sensação de atrito (áspera e pouco pegajosa) e o material apresenta-se sem muita consistência não formando rolos (biscoitos alongados); a argila apresenta a sensação de suavidade e pegajosidade, o material apresenta plasticidade, uma vez que forma longos rolos que podem ser dobrados sem quebrar; o silte a sensação é de sedosidade e o material é bem quebradiço dificultando a formação de rolos, e por fim os materiais com textura média, os quais apresentam a sensação de aspereza e de plasticidade, os rolos se formam, porém, quando dobrados quebram-se.

Para Oliveira et al., (1992) a textura de cada horizonte é uma das características mais estáveis do solo, uma vez que suas propriedades não variam. Para Freire (2006) é a propriedade principal, sendo a textura que determina todas as outras propriedades.

### 2.1.3.3 *Estrutura*

O conjunto das partículas primárias do solo (argila, silte e areia) e matéria orgânica, devido as várias ações as quais estão expostas, agrupam-se formando agregados. O tamanho, forma e aspecto de como esses agregados se arranjam é definido por Oliveira et al. (1992) como estrutura. Os agregados apresentam-se em tamanhos e formatos variados e estão separados uns dos outros por fendilhamentos (LEPSCH, 2010).

Oliveira et al. (1992) afirmam que a estrutura é uma das características morfológicas mais importante frente a identificação de horizontes dos solos, porém é pouco utilizada para a classificação dos solos.

Para examinar e descrever a estrutura de uma amostra o IBGE (2015) recomenda, primeiramente, que se retira do horizonte um bloco ou torrão e observar-se se há ou não estrutura no material, pressionando-a levemente a amostra, fazendo com que as unidades estruturais porventura existentes se desprendam umas das outras. Sempre que houver estrutura ela se individualizará de forma perceptível e mais ou menos regular. Uma vez separadas, observa-se a sua forma, tamanho e coesão entre os agregados.

A eficiência como se dá a ligação entre os agregados, de acordo como Olivera et al. (1992), é perceptível pela nitidez da ligação, estabilidade e capacidade das unidades estruturais se manterem unidas com o manuseio. O grau de desenvolvimento é dividido pelo IBGE (2015) em três estados de estruturação, sendo elas: franca, moderada e forte.

Segundo Lepsch (2010) e IBGE (2015), algumas estruturas devem ser observadas e anotadas como: tipo granular, bloco angular e/ou subangular, laminar, prismática, colunar, paralelepípedicas, cuneiforme, grão simples, maciça, com aspecto maciço, prismática composta de blocos.

#### *2.1.3.4 Consistência*

Os agregados são formados por partículas de areia, silte e argila misturadas ou puras. Essas aderem umas às outras e assim são mantidas com maior ou menor grau de coesão (FREIRE, 2006).

O grau de consistência varia de acordo com a textura, estrutura, teor de umidade do solo. Portanto, a coesão é determinada nos estados seco, úmido e molhado.

A verificação da consistência do solo é determinada comprimindo a amostra entre o polegar e o indicador. No estado seco a consistência é determinada através da caracterização da dureza e tenacidade, podendo ser caracterizada como: solta, macia, ligeiramente dura, dura, muito dura, extremamente dura. No estado úmido caracteriza-se a consistência pela friabilidade, podendo ser: solta, firme, muito friável, friável, muito firme e extremamente firme. No estado molhado, verifica-se a plasticidade e pegajosidade, podendo ser caracterizada como: não plástica/pegajosa, ligeiramente plástica/pegajosa, plástica/pegajosa e muito plástica/pegajosa (IBGE, 2015).

#### 2.1.4 Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS

O sistema taxinômico de classificação dos solos no Brasil é o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), possui como base o sistema americano. Sua primeira versão foi oficialmente apresentada Embrapa em 1999, sendo atualizado e revisado no ano de 2006.

O presente sistema conta com seis níveis categóricos: ordem, subordem, grande-grupo, subgrupo, família e série. O quinto (família) e sexto nível (série) apresentam-se em discussão, porém possivelmente serão classificados de acordo com as atribuições já impostas.

O primeiro nível categórico, as ordens, são compostos por 13 classes e nomeadas pela associação de um elemento formativo com a terminação “-solo”. As referidas classes são separadas pela presença ou ausência de determinados tributos, horizontes diagnósticos ou propriedades passíveis de serem identificadas no campo, diferenças no tipo e grau de desenvolvimento de um conjunto de processos que atuaram na formação do solo.

O Quadro 2 correlaciona as classificações dos solos vigentes desenvolvida pela Embrapa nos anos de 2014 e 1999, bem como as principais características associadas a cada classe. A classificação realizada pela Embrapa (1999) será utilizada na metodologia de mapeamento geotécnico de Davison Dias (1995), conforme será abordado no item 2.2.

O segundo nível categórico é denominado de subordem e composto por 43 classes. Nesse grupo reflete a atuação de outros processos que agiram em conjunto ou afetaram os processos do primeiro nível durante a formação do solo. Esses processos são responsáveis pelas características e pela ausência de diferenciação dos horizontes diagnosticados.

O terceiro nível categórico, grandes grupos, são formados por 188 classes separadas de acordo com o tipo e arranjo dos horizontes, atividade da argila, presença ou ausência de horizontes e propriedades que interferem no desenvolvimento das raízes.

O quarto nível categórico, denominado de subgrupos, é constituído de 747 classes e diferenciados pelos horizontes e sinais pedogenéticos mais simples, representa solos com características extraordinárias.

O quinto nível categórico, apesar de apresentar-se em discussão, encontra-se pré-definido a classe das famílias e diferenciado com base nas características e propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas.

O sexto e último nível também não se encontra definido, porém está estipulado como série e irá apresentar a categoria mais homogênea, tendo como características relacionadas o crescimento das plantas e propriedades importantes nas interpretações para fins de engenharia, geotecnia e ambientais.

Quadro 2 - Nomenclatura, principais características e classificação anteriores.

Nomenclatura	Características associadas	Classificação do SiBCS (1999)
Argissolo	Solos com acumulação de argila. Horizonte B textural imediatamente abaixo de qualquer horizonte, exceto o hístico e sem apresentar os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos. As cores do horizonte B textural variam de acinzentadas a avermelhadas e as dos horizontes superficiais são sempre mais escurecidas. A profundidade desse tipo de solo é variável, sendo em sua maioria profundos e pouco profundos. Apresenta com a seguinte sequência de horizonte: A, $B_t$ ,C ou A,E, $B_t$ ,C.	Rubrozéns, Podzólicos Bruno-Acinzentados, Podzólicos Vermelho-Amarelos Ta, alguns Podzólicos Vermelho-Amarelos Tb, Podzólicos Vermelho-Escuros Tb com B textural, Podzólicos Amarelos e pequena parte de Terra Roxa Estruturada Eutróficas, Distróficas ou Álicas com gradiente textural necessário para B textural
Cambissolos	Solos em formação ou transformação com horizonte B incipiente e subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial (exceto hístico com 40 cm ou mais de espessura). Apresenta uma grande variedade de cores e, geralmente, são encontrados em relevos mais acidentados. São solos pedregosos, cascalhentos e rochosos. Grande parte dos Cambissolos apresentam-se sob vegetação por encontrar-se em montanhas de difícil acesso e manejo, além de apresentar muitas vezes pouca espessura, pedregosidade e baixa saturação. Apresenta com a seguinte sequência de horizonte: A, $B_i$ ,C.	Cambissolos, exceto os Cambissolos Eutróficos com horizontes A chernozêmico e com argila de atividade alta.
Chernossolo	Solos com coloração escura, rico em matéria orgânica, com horizonte A chernozêmico pequena e média espessura, preto, rico em bases. Seguido por horizonte B incipiente ou B textural, com argila de atividade alta e saturação por bases alta.	Rendzinas, Brunizéns, Brunizéns Avermelhados e Brunizéns Hidromórficos.

Nomenclatura	Características associadas	Classificação do SiBCS (1999)
Espodossolo	Solos com acúmulo de matérias orgânicas associadas a presença de alumínio, com a presença de horizonte B espódico (horizonte mineral subsuperficial, com espessura mínima de 2,5 cm com acumulação incipiente de matéria orgânica associada a complexos de sílica-alumínio ou húmus-alumínio, podendo ou não conter ferro) imediatamente abaixo do horizonte E e A, ou horizonte hístico dentro de 200 cm da superfície do solo ou de 400 cm se a soma dos horizontes A e E. E o horizonte B não deve ultrapassar 200 cm de profundidade. São solos, no geral, muito pobres no tocante a nutrientes minerais e possui predominantemente uma textura arenosa.	Podzol, inclusive Podzol Hidromórfico.
Gleissolo	São solos hidromórficos, possuem horizonte glei (horizonte subsuperficial, eventualmente superficial, com espessura de 15 cm ou mais, com baixa concentração de ferro e com cores neutras) iniciando dentro dos primeiros 50 cm e 150 cm desde que imediatamente abaixo do horizonte A, E ou horizonte hístico com características do Organossolo. Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas. Geralmente localizados em áreas alagadas ou sujeitas a alagamento.	Glei Pouco Húmicos, Glei Húmicos, parte dos Hidromórficos Cinzentos (sem mudança textural abrupta), Glei Tiomórficos e Solonchaks com horizonte glei.
Latossolo	Solos muito intemperizados, com horizonte B latossólito (espessura mínima de 50 cm, textura francoarenosa ou mais fina e baixos teores de silte) imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico. São solos mais profundos, intemperizados e de boa drenagem e homogeneidade. Apresenta a seguinte sequência de horizonte: A, B <sub>t</sub> , C.	Latossolos, exceto os Latossolos Plínticos
Luvissole	Solos com acumulação de argila de alta atividade (Ta), apresentam horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E. Variam de bem a imperfeitamente drenados, normalmente poucos profundos com horizontes possuindo a seguinte sequência A, B <sub>t</sub> , C, com nítida diferenciação entre A e B <sub>t</sub> . Apresenta textura em blocos (moderada ou fortemente desenvolvida) ou prismática, composta de blocos angulares e subangulares.	Brunos não Cálcicos, Podzólicos Eutróficos Ta.

Nomenclatura	Características associadas	Classificação do SiBCS (1999)
Neossolo	Solos jovens, em formação inicial, pouco desenvolvimento pedogenético. Admitem diversos tipos de horizontes superficiais, incluindo horizontes O (com menos de 20 cm de espessura) e horizonte A húmico (menor que 50 cm sobrejacente à camada C). Possuem as seguintes sequências de horizonte: A,R; A,C,R; A,C; O,R; H,C.	Litossolos, Solos Litólicos, Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas (Distróficas, Marinhas e Hidromórficas).
Nitossolo	São solos constituídos de material mineral, com horizonte B nítico imediatamente abaixo do horizonte A ou E. Apresenta textura argilosa ou muito argilosa desde a superfície. Apresenta estrutura em blocos subangulares, angulares ou prismáticos de grau moderado ou forte. São solos que praticamente não apresentam variação acentuada de cor com o avanço da profundidade no perfil de solo, uma vez que possuem fraca diferenciação entre os horizontes. Possuem geralmente a seguinte sequência de horizonte: A, <i>B<sub>nítico</sub></i> , C.	Terra Roxa Estruturada, Terra Roxa Estruturada Similar, Terra Bruna Estruturada, Terra Bruna Estruturada Similar, alguns Podzólicos Vermelho-Escuros Tb e alguns Podzólicos Vermelho-Amarelos Tb.
Organossolo	Solos poucos evoluídos, formados por materiais orgânicos com acúmulos de restos vegetais em vários estágios de decomposição. Apresentam horizonte hístico com mais de 40 cm de espessura ou, se diretamente acima da rocha, mais de 20 cm. Localizam-se em ambientes mal a muito mal drenados ou em ambientes úmidos e frios de altitudes elevadas. Têm coloração preta, cinzenta muito escura ou marrom e apresentam elevados teores de carbono orgânico.	Solos Orgânicos, Solos Semiorgânicos, Solos Tiomórficos Turfosos e parte dos Solos Litólicos Turfosos com horizonte hístico com 30 cm ou mais de espessura.
Planossolo	Solos minerais com horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E. Imperfeitamente ou mal drenados, textura leve que constrata com o horizonte B, apresentando uma marcante diferenciação entre os horizontes. Permeabilidade lenta ou muito lenta. Solos desenvolvidos em planícies ou depressões com encharcamento em estação sazonal.	Planossolos, Solonetz Solodizados e Planossolos Hidromórficos Cinzentos que apresentam mudança textural abrupta.

Nomenclatura	Características associadas	Classificação do SiBCS (1999)
Plintossolo	São os solos formados por material mineral formados em locais que apresentam drenagem restritas, argilosos, coloridos e endurecem quando expostos ao ar. Apresenta horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário com profundidade de 40 cm a partir da superfície ou, então, com 200 cm a partir quando precedidos de horizonte glei, situados imediatamente abaixo do horizonte A, E ou de outro horizonte que apresente cores pálidas e variegadas. São típicos de zonas quentes e úmidas, com estações secas bem definidas e com pelo menos um período chuvoso.	Lateritas hidromórficas, parte dos Podzólicos Plínticos, parte dos solos Glei Húmicos e dos Glei Pouco Húmicos Plínticos e alguns dos possíveis Latossolos Plínticos.
Vertissolo	São solos minerais, com horizonte vértico e pequena variação textural ao longo do perfil, nunca suficiente para caracterizar um horizonte B textural. Geralmente apresentam fendas devido à grande quantidade de argila presente com capacidade de expansão e contração. Apresentam evidências de movimentação da massa do solo sob a forma de superfícies de fricção (slickensides). O horizonte vértico apresenta entre 25 cm e 100 cm de profundidade.	Vertissolos, inclusive os Hidromórficos.

Fonte: Adaptado de Embrapa (2014), IBGE (2015) e Lepsch (2010).

Após o conhecimento das características pedológicas e geológicas da área de estudo, realizou-se o mapeamento geotécnico por meio da aplicação do método descrito por Davison Dias (1995), o qual prevê a sobreposição da geologia, pedologia e topografia. Portanto, é de extrema importância o conhecimento dos itens anteriormente expostos, uma vez que, a geologia permite inserir as características do horizonte de alteração da rocha (horizonte saprolítico) e a pedologia permite inferir características dos horizontes superficiais.

## 2.2 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

O mapeamento geotécnico surgiu inicialmente nos países europeus há mais de um século. Primeiramente, em meados do século XVIII, os dados e informações tinham como objetivo unicamente subsidiar a construção de obras de engenharia. Posteriormente, em meados do século XX, as cartas geotécnicas, passaram a incluir dados destinados a contribuir para o processo de uso e ocupação do solo, como na gestão de riscos e na prevenção de desastres naturais (BITAR; FREITAS; MACEDO, 2015).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura - UNESCO (1976), o mapa geotécnico fornece a melhor impressão do ambiente geológico, dos seus componentes individuais e de suas interrelações. Porém, devido à complexidade e dinamismo de vários fatores envolvidos, um modelo simplificado dificilmente poderá ser totalmente representado. O grau de simplificação depende principalmente do propósito e da escala do mapa, da importância dos fatores geológicos específicos ou relacionamentos, da precisão das informações e das técnicas de representação utilizadas.

Os mapas geotécnicos aplicados às fundações permitem orientar o usuário quanto à capacidade de suporte de cargas pelo subsolo nas fundações superficiais, e possui como principal objetivo diminuir o custo, tempo, número de situações a estudar e orientar investigações em locais específicos. Para Zuquette (1987) na elaboração das cartas diferentes características podem ser analisadas ao longo das profundidades, como: tipo, natureza e espessura dos materiais e hidrogeologia.

A cartografia geotécnica, segundo Davison Dias (1995), define métodos para enquadrar unidades homogêneas, conforme as orientações técnicas dessas unidades, para isso é necessário o conhecimento geotécnico do subsolo brasileiro em seus múltiplos universos.

Zuquette (1992 apud THIESEN, 2016) traz que o mapeamento geotécnico é definido como um conjunto de estudos, onde deve-se retratar o meio físico de forma que permita obter não só informações básicas para orientação da escolha das áreas mais adequadas aos seus empreendimentos, como também os critérios a serem utilizados nas investigações de detalhe que se fizerem necessárias.

Para Higashi (2006) o mapeamento geotécnico é definido como uma metodologia, onde as características geomecânicas do solo são representadas em unidades geotécnicas delimitadas na forma de polígonos, podendo essas características serem utilizadas em projetos ambientais e de engenharia.

O mapeamento geotécnico vem sendo utilizado em diversos países do mundo, portanto, existem diversas metodologias desenvolvidas, algumas criadas de acordo com as características da área de estudo e outras adaptadas das já existentes. Kopezinski (2000 apud HIGASHI 2006) destacam algumas metodologias utilizadas no planejamento territorial urbano e regional, no projeto de estradas e no movimento de massas, sendo elas: IAEG (*International Association of Engineering Geology*), Francesa, Australiana, Britânica, Russa, Espanhola, USA e Canadense.

A nível de Brasil, segundo Sbroglia (2015), pesquisadores e entidades desenvolveram metodologias para a elaboração de mapas geotécnicos adaptadas aos solos brasileiros, característicos de um clima tropical, quente e úmido, que favorece o intemperismo, desenvolvendo solos profundos. Entre muitas metodologias nacionais Higashi (2006) cita a metodologia do Instituto de Geologia da UFRJ, a do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo - IPT, a de Zuquette (1987) e a metodologia desenvolvida na UFRGS por Davison Dias (1995).

A metodologia de mapeamento, empregada por Davison Dias (1995), é comprovada e validada na aplicação de vários trabalhos, teses e dissertações, podendo-se citar: Santos (1997), Abitante (1997), Higashi (2006), Reginatto (2013), Christ (2014), Thiesen et al. (2015), Oliveira (2015), Sbroglia (2015), Thiesen (2016). Diante do exposto, foi escolhida tal metodologia para a realização do presente estudo.

### **2.2.1 METODOLOGIA PROPOSTA POR DAVISON DIAS (1995)**

A metodologia de Davison Dias (1995) surgiu da necessidade da caracterização de grandes áreas de solos tropicais, onde não se tem a possibilidade de realizar um grande volume de ensaios geotécnicos e consiste na utilização da pedologia como ciência orientadora do comportamento dos solos.

A técnica consiste em definições de unidades geotécnicas cujos solos possuem perfis de origem, características físicas e morfológicas semelhantes.

Segundo Davison Dias (1995) a nova carta se origina com a sobreposição das cartas geológicas, pedológicas e topográficas. Para cada unidade geotécnica a geologia permite inferir atributos relativos às características do horizonte de alteração da rocha e a pedologia características dos horizontes superficiais. Levando-se em consideração que existem variações dos tipos de solos de acordo com a declividade, a topografia auxilia na delimitação dos limites entre as unidades. Portanto, indiretamente, esta metodologia utiliza-se das feições de relevo (*landforms*) de Zuquette (1987).

A simbologia “ABCxyz” corresponde a classificação das unidades geotécnicas, a qual é definida por Davison Dias (1995). As letras maiúsculas “ABC” correspondem à classificação pedológica dos horizontes superficiais (horizonte A e B) e as minúsculas “xyz” são identificadoras da geologia caracterizando os horizontes C, RA e R. Na classificação geológica é utilizada a rocha dominante. No caso de haver mais de uma litologia no material do substrato, adotam-se as siglas destas litologias em letras minúsculas separadas por vírgulas.

A padronização para a nomenclatura das unidades geotécnicas é proposta pelo autor da metodologia no ano de 2001. As siglas representadas no Quadro 3 e 4 são as definidas para a pedologia e geologia, respectivamente.

Quadro 3 - Simbologia simplificada das classes pedológicas.

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
<b>A</b>	Aluviais	<b>P</b>	Podzóis Indiscriminados
<b>AQ</b>	Areia Quartzosa	<b>PB</b>	Podzólico Bruno-Acidentado
<b>B</b>	Brunizém	<b>PE</b>	Podzólico Vermelho-Escuro
<b>BV</b>	Brunizém Vértico	<b>PL</b>	Planossolo
<b>C</b>	Cambissolo	<b>PLV</b>	Planossolo Vértico
<b>CB</b>	Cambissolo Bruno	<b>PLP</b>	Planossolo Plíntico
<b>GH</b>	Glei	<b>PT</b>	Plintossolo
<b>HO</b>	Solo Orgânico	<b>PV</b>	Podzólico Vermelho-Amarelo
<b>LA</b>	Latossolo Amarelo	<b>R</b>	Litólico
<b>LB</b>	Latossolo Bruno	<b>TR</b>	Terra Roxa Estruturada
<b>LBC</b>	Latossolo Bruno-Câmbico	<b>TB</b>	Terra Bruna-Estruturada
<b>LBR</b>	Latossolo Bruno-Roxo	<b>TBR</b>	Terra Bruna-Roxa
<b>LE</b>	Latossolo Vermelho-Roxo	<b>TBV</b>	Terra Bruna Podzólica
<b>LR</b>	Latossolo Roxo	<b>V</b>	Vertissolo
<b>LV</b>	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: Davison Dias (2001).

Quadro 4 - Simbologia simplificada das classes litológicas.

<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>	<b>Sigla</b>	<b>Classificação</b>
<b>a</b>	Arenito	<b>g</b>	Granito
<b>ag</b>	Argilito	<b>gl</b>	Granulito
<b>an</b>	Andesito	<b>gn</b>	Gnaisse
<b>ar</b>	Ardósia	<b>gd</b>	Granitóide
<b>b</b>	Basalto	<b>ma</b>	Mármore
<b>br</b>	Brecha	<b>p</b>	Pelito
<b>c</b>	Conglomerado	<b>q</b>	Quartzito
<b>ca</b>	Calcáreo	<b>r</b>	Riolito
<b>cm</b>	Complexo metamórfico*	<b>si</b>	Sienito
<b>cr</b>	Carvão	<b>s</b>	Siltito
<b>d</b>	Diorito	<b>sq</b>	Sedimentos quaternários
<b>da</b>	Dacito	<b>st</b>	Sedimentos terciários
<b>f</b>	Folhelho	<b>x</b>	Xisto

Fonte: Davison Dias (2001).

A fim de auxiliar nas delimitações das unidades geotécnicas geradas e determinar o comportamento geomecânicas das mesmas foram utilizadas investigações do subsolo.

### 2.3 INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

O conhecimento e exploração do subsolo são de extrema importância dentro da engenharia. Para Rebello (2008) as características do solo auxiliam, não só para a escolha do tipo de fundação e seu dimensionamento, mas também, para a determinação de existência de matacões, água e vazios, fatores que podem influenciar o processo produtivo.

Schnaid e Odebrecht (2012) afirmam que algumas investigações geotécnicas podem ser analisadas visando auxílio aos profissionais envolvidos nas áreas de planejamento urbano e ambiental, como na avaliação de impactos decorrentes do avanço das cidades, implantação de parques industriais, entre outras aplicações.

Os grandes riscos em obras de engenharia, segundo Becker (2001 apud MARINHO, 2005) estão associados a problemas com o subsolo, podendo prejudicar o projeto e o meio ambiente. Ainda, para Marinho (2005), projetar conhecendo os aspectos geológicos-geotécnicos, é a melhor forma de fazer engenharia.

Diante do exposto, observa-se a importância do conhecimento do subsolo. Esse conhecimento se dá através da sondagem, que é definida por Rebello (2008) como um procedimento cuja finalidade é conhecer o tipo, características e resistência do solo, bem como a profundidade de água no subsolo. Nesse sentido, Schnaid e Odebrecht (2012) trazem os principais ensaios de campos utilizados no Brasil: *Standard Penetration Test* (SPT), Ensaio de Cone (CPT) e Piezocone (CPTU), Ensaio de Palheta (*vane test*), Ensaio Pressiométrico, Ensaio Dilatométrico (*DilatoMeter Test – DMT*).

Também conhecido como sondagem à percussão, Schnaid e Odebrecht (2012) afirmam que o ensaio SPT é o mais popular e econômico método de investigação, uma vez que seus resultados são analisados e posteriormente aplicados ao projeto de fundação por métodos não sofisticados, mas diretos, com regras empíricas.

Aliado ao grau de importância do presente método de investigação, custos presentes na execução e a sua utilização na elaboração do banco de dados geológico-geotécnico, as seções seguintes apresentam a metodologia e normatização do ensaio SPT, bem como os parâmetros e correlações relacionados com seus resultados.

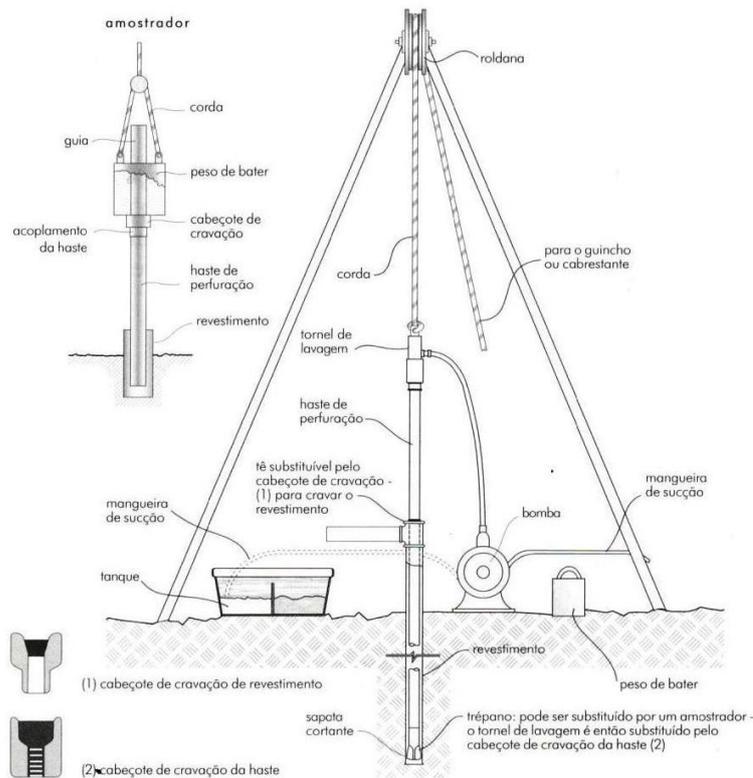
### 2.3.1 Standard Penetration Test - SPT

A sondagem SPT, conforme NBR 6484/2001, possui como objetivo a caracterização dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência, a posição do nível d'água e resistência à penetração a cada metro.

Schnaid e Odebrecht (2012) afirmam que, especialmente no Brasil, os resultados de SPT são utilizados como métodos rotineiros de projetos de fundações diretas e profundas. Ainda para os autores, o ensaio constitui-se em uma medida de resistência conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento.

No Brasil o ensaio é padronizado pela NBR 6484/2001, Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio, o qual regulamenta a utilização dos seguintes equipamentos para a realização do ensaio: um tripé, um peso de 65 kgf (martelo), amostrador padrão (Terzaghi), hastes, cabeça de bater e conjunto de perfuração, conforme Figura 3.

Figura 3 - Equipamento para a realização do ensaio de simples reconhecimento - SPT



Fonte: Rebello (2008).

Nos pontos pré-definidos para a sondagem os furos são iniciados com emprego do trado-concha ou cavadeira manual até 1m de profundidade. De posse do equipamento, inicia-

se a sondagem, o amostrador-padrão é posicionado no fundo da perfuração, o qual é cravado com o peso do martelo em queda livre por 75cm altura. O procedimento é repetido até que o amostrador penetre 45cm, contabilizando o número de golpes para cada 15cm de penetração. Sendo o número de golpes dos últimos 30cm de penetração do amostrador utilizado nos projetos de engenharia e denominado como  $N_{SPT}$ .

O procedimento exposto deve ser repetido nos próximos metros após a amostragem do solo colhidas por meio do amostrador-padrão. Ao observar o nível d'água interrompe-se a perfuração e observa-se a elevação do nível d'água com a leitura a cada 5 minutos por no mínimo 15 minutos.

A norma NBR 6484/2010 recomenda que a cravação do amostrador-padrão deve ser interrompida antes dos 45cm de penetração sempre que ocorrer as seguintes situações:

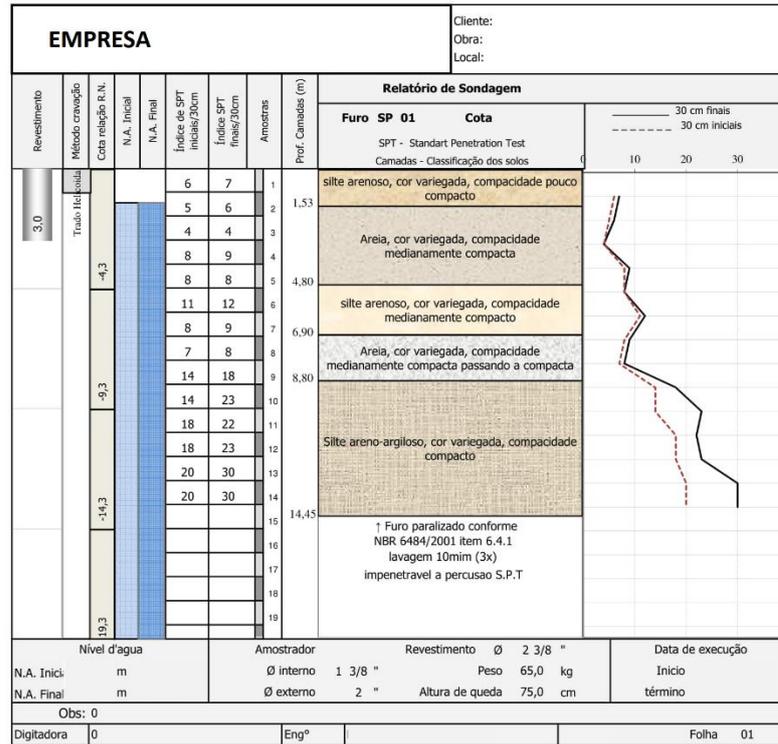
- a) Em qualquer um dos três segmentos de 15cm, o número de golpes ultrapassar a 30;
- b) Total de 50 golpes terem sido aplicados durante toda a cravação;
- c) Não se obter avanço do amostrador-padrão durante a aplicação de cinco golpes sucessivos do martelo.
- d) Após interrompido o avanço do amostrador-padrão por cravação deve ser executado o avanço da perfuração por circulação de água. O ensaio consiste na remoção do solo por meio de circulação de água realizada pela bomba d'água motorizada e o trépano de lavagem como ferramenta de escavação. O presente ensaio deve possuir duração de 30 minutos, anotando-se os avanços do trépano em cada período de 10 minutos, dada como encerrada o avanço da perfuração por circulação de água quando for inferior a 50mm em cada período de 10 minutos ou após quatro ensaios consecutivos (2 horas), não for alcançada a profundidade de execução do SPT. Deve-se constar no relatório de sondagem a designação quando a impenetrabilidade ao trepano de lavagem.

A norma ressalta ainda que, dada por encerrada a sondagem e o furo não estiver obstruído, deve-se após 12 horas medir a posição final do nível do lençol freático. Rebello (2011) complementa que toda aferição do nível d'água deve ser datada, para que se possa acompanhar as oscilações ao longo do ano em consequência do regime de chuvas.

As amostras extraídas do solo devem ser examinadas a fim da elaboração do perfil geológico-geotécnico da sondagem, deve-se identificar as seguintes características: granulometria, plasticidade, cor e origem (residual, transportado ou aterros).

Por fim, as informações devem ser apresentadas em forma de planilha denominada perfil de sondagem, laudo ou boletim individual de sondagem, exemplificados na Figura 4. Esse perfil é graduado de metro a metro, onde os números de golpes são representados a cada 15cm, em total de 45cm. Para cada metro é apresentado as características obtidas da amostragem do solo, a cota do nível d'água e a respectiva data (REBELLO ,2011).

Figura 4 - Perfil individual de sondagem.



Fonte: Acervo próprio.

Schnaid e Odebrecht (2012) afirma que os resultados dos ensaios SPT são utilizados para inúmeras aplicações, como: para a amostragem, para a identificação dos horizontes, previsão da tensão admissível de fundações e correlações com outras propriedades geotécnicas. Para Thiesen (2016) a unificação dos boletins individuais de sondagens possibilita a obtenção de perfis estratigráficos de uma região.

Os resultados do ensaio SPT podem ser interpretados por meio de dois métodos: diretos e indireto. No método direto os índices de resistências são aplicados de forma empíricas e/ou semiempíricas, prevendo assim, um valor de tensão admissível ou o comportamento do solo. Já no método indireto, Schnaid e Odebrecht (2012) ressalta que os parâmetros construtivos são determinados através de correlações com os resultados do ensaio SPT

### 2.3.1.1 Parâmetros e correlações

Diante da vasta utilização dos ensaios de simples reconhecimento com SPT, Santos (2016) afirma que muitas correlações podem ser encontradas em bibliografias e normas envolvendo o  $N_{SPT}$ . O autor destaca algumas bibliografias: Aoki e Velloso (1975), Décourt e Quaresma (1978), Skempton (1986), Décourt (1989), Teixeira (1996), Teixeira e Godoy (1996) e Milititsky e Scaid (1995).

Para Berbiran (2012 apud THIESEN, 2016) há correlações para praticamente todo o ensaio SPT, destacando-se: coesão, módulo de elasticidade, ângulo de atrito, densidades, índice de compressão, coeficiente de recalque, de adensamento, de permeabilidade e empuxo, resistência da ponta e lateral, entre outras.

A NBR 6484/2001 traz a relação entre o  $N_{SPT}$ , o estado de compactação de solos grossos e de consistência dos solos finos, conforme exposto no Quadro 5.

Quadro 5 - Estado de compactação e de consistência

Solo	Índice de resistência à penetração N	Designação
Areias e siltes arenosos	$\leq 4$	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	$> 40$	Muito Compacta (o)
Argilas e siltes argilosos	$\leq 2$	Muito Mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	$> 19$	Dura (o)

Fonte: NBR 6484/2001.

Há muitas maneiras de correlacionar os resultados obtidos dos ensaios de simples reconhecimento com SPT. Rebello (2011) destaca a tensão admissível do solo, definida por Cintra, Aoki e Albiero (2011), como o valor máximo de tensão aplicada no solo que atenda às limitações de recalque ou deformação de uma estrutura. Para a sua determinação a NBR 6122/2010 recomenda um dos seguintes critérios: método teórico, semiempíricos, empíricos ou meio de provas de carga sobre placas.

Mello (1975 apud CINTRA; AOKI; ALBIERO, 2011) e Rebello (2011) trazem correlações e critérios semelhantes para a determinação da tensão admissível, expressa pela equação (1), onde  $\sigma_{adm}$  é a tensão admissível à compressão do solo ou “taxa do solo”,  $N$  é o

número de golpes necessários para cravar os últimos 30cm do amostrador-padrão. A distinção feita entre os autores se dá que Mello (1975) apresenta a equação (1) para N variando entre 4 e 16.

$$\sigma_{adm} = \sqrt{N} - 1 \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

Rebello (2011) considera essa relação falha, uma vez que não considera todos os tipos de solo, portanto devido ser simples, pode ser facilmente memorizada e tornar-se útil para dar uma primeira ideia de resistência de solo.

Teixeira (1996) apresenta fórmulas considerando a distinção entre solos argilosos e arenosos, conforme equação (2) e (3), respectivamente.

$$\sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{50} + q \text{ (MPa)} \quad (2)$$

$$\sigma_{adm} = 0,05 + (1 + 0,4B) \frac{N_{SPT}}{100} \text{ (MPa)} \quad (3)$$

A equação (2) considera  $N_{SPT}$  entre 5 e 20, onde  $N_{SPT}$  é o valor médio no bulbo de tensões e  $q$  corresponde à sobrecarga, a qual pode ou não ser considerada. A equação (3) considera apenas sapatas quadradas onde B representa os lados em metros, que devem ser apoiadas a uma profundidade de 1,5m com areias de 18 kN/m<sup>3</sup>.

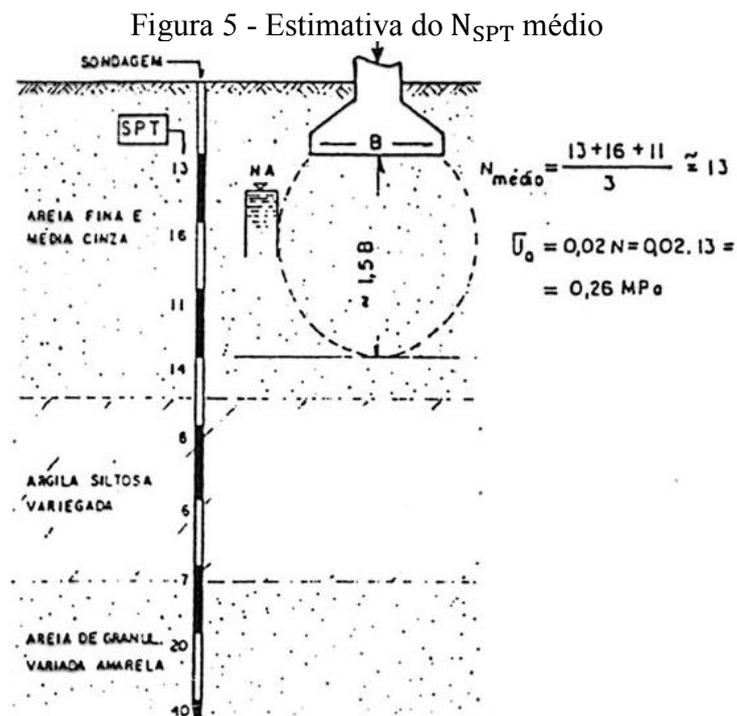
Hachich et al. (1998) traz a correlação entre tensão admissível e número de golpes através da equação (4), válida para qualquer solo natural com N entre 5 e 20. Uma vez que não é permitido o emprego desse método para fundação direta quando o solo for mole ou fofo ( $N < 5$ ) e também, quando N for maior que 20, visto que resultará em uma tensão admissível maior que 0,4 Mpa. Sendo assim, diante dos resultados de N extremos os autores recomendam ensaios complementares e assistência de especialistas em fundações.

$$\Sigma_{adm} = 0,02N \text{ (MPa)} \quad (4)$$

Alonso (1983 apud CINTRA, AOKI e ALBIERO, 2011) propõe métodos para determinar a tensão admissível de fundações por tubulões, conforme equação (5).

$$\Sigma_{adm} = \frac{N_{SPT}}{30} \text{ (MPa)} \quad (5)$$

As tensões aplicadas ao solo se propagam por alguns metros de profundidade, essa propagação se dá pelo bulbo de tensão. Segundo Hachich et al. (1998) o bulbo de tensão é 1,5 vezes a base da sapata, conforme Figura 5.



Fonte: Hachich et al. (1998).

Cintra, Aoki e Albiero (2011) afirmam que para efeitos de cálculos das fundações pode-se considerar a profundidade do bulbo de tensão em função da forma da sapata e sua dimensão, conforme Quadro 6.

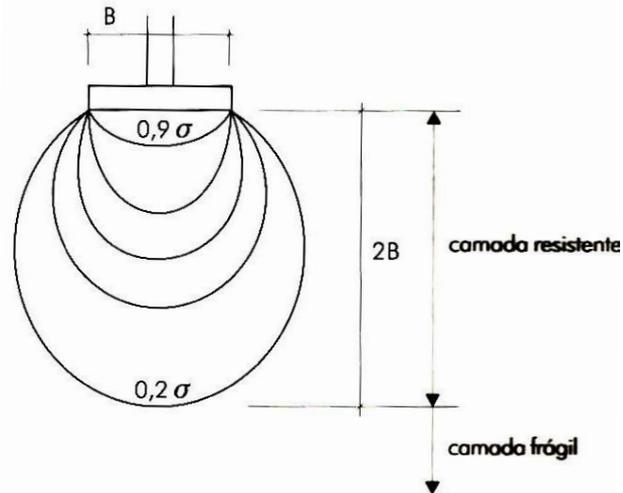
Quadro 6 – Relação entre forma e dimensão da sapata com a profundidade do bulbo de tensão.

Forma e dimensão da sapata	Profundidade do bulbo de tensão
Sapata circular ou quadrada ( $L = B$ )	2B
Sapata retangular ( $2B \leq L \leq 4B$ )	3B
Sapata corrida ( $L \geq 4B$ )	4B

Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2011).

Rebello (2011) faz a representação do bulbo de tensão através de curvas isobáricas, as quais são representadas por linhas de iguais tensões conforme Figura 6. O autor afirma que o bulbo de tensão é considerado igual ao dobro do valor do maior lado da sapata, abaixo disso, pode ser considerado a tensão transmitida ao solo desprezível.

Figura 6 - Bulbo de tensão no solo provocado pelas sapatas.



Fonte: Rebello (2011).

As fundações rasas são definidas como a fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominante pelas pressões distribuídas sob a base da fundação e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Rebello (2011) considera técnico e economicamente adequado o uso de fundações rasas, quando o número de golpes do SPT for maior ou igual a 8 e a profundidade para atingir essa resistência não ultrapassar a 2 m. Tratando-se de fundações profundas, deve-se optar quando a fundação superficial não for a mais adequada, seja pelo tipo de solo ou pelo custo de escavação e reaterros. É de extrema importância um conhecimento detalhado do perfil do solo antes da escolha da fundação, uma vez que, mudanças bruscas no  $N_{SPT}$  podem evidenciar características geotécnicas importantes.

Quando o elemento de fundação transmite a carga da estrutura para o terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de atrito do fuste) ou por uma combinação das duas define-se a fundação como profunda. Para ser considerado fundação profunda deve ainda ser observado o assentamento da fundação, uma vez que a profundidade

de assentamento em relação ao terreno adjacente deve ser superior ao dobro de sua menor dimensão em planta.

Na escolha do tipo de fundação profunda, Cintra e Aoki (2010) trazem uma correlação entre o tipo de estaca e os valores de  $N_{SPT}$  em que costuma ocorrer a parada da estaca, conforme Quadro 7, podendo ser interpretado como o limite máximo de penetrabilidade no terreno.

Quadro 7 - Valores limites de  $N_{SPT}$  para paradas das estacas.

Tipo de estaca		$N_{SPT}$
Pré-moldada de concreto	$\varnothing < 30\text{cm}$	$15 < N_{SPT} < 25$ $\Sigma N_{SPT} = 80$
	$\varnothing \geq 30\text{cm}$	$25 < N_{SPT} \leq 35$
Perfil metálico		$25 < N_{SPT} \leq 55$
Tubada - oca, ponta fechada		$20 < N_{SPT} \leq 40$
Strauss		$10 < N_{SPT} \leq 25$
Franki	Em solos arenosos	$8 < N_{SPT} \leq 15$
	Em solos argilosos	$20 < N_{SPT} \leq 40$
Estação e diafragma, com lama betonítica		$30 < N_{SPT} \leq 80$
Hélica contínua		$20 < N_{SPT} \leq 45$
Ômega		$20 < N_{SPT} \leq 30$
Raiz		$N_{SPT} \geq 60$ (penetra na rocha sã)

Fonte: Cintra e Aoki (2010).

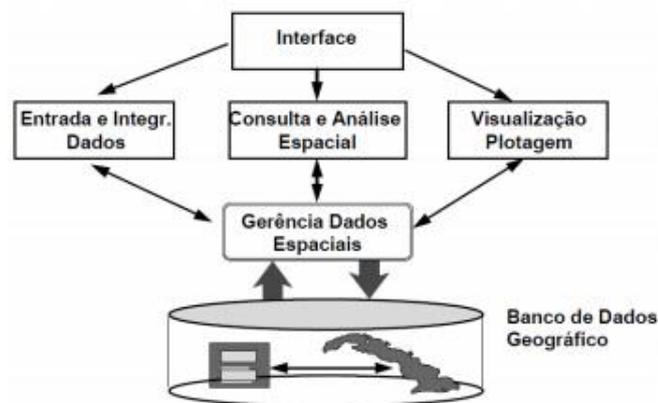
## 2.4 SIG E BANCO DE DADOS

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é a tradução do termo GIS (*Geographic Information System*) e descrito por uma grande quantidade de literaturas. Pode-se resumir SIG como um conjunto de dados armazenados em um sistema que possibilita o processamento, a análise, produção ou atualização de mapas, cartas ou relatórios múltiplos.

O SIG é definido por Higashi (2006) como uma ferramenta computacional aplicada ao geoprocessamento, a qual permite análises complexas através da integração de dados de diversas fontes e bancos de dados georreferenciados, possibilitando, assim, a automação e a produção de documentos cartográficos. Ribeiro (2005) contribui afirmando que os Sistemas de Informações Geográficas são sistemas desenvolvidos com o propósito de processamento digital da informação geográfica, considerando seus aspectos geométricos, topológicos e temporais, podendo alcançar a integração de informações geográficas em vários níveis temáticos.

Para Câmara (2001) e Queiroz e Ferreira (2006) o SIG pode ser utilizado de três maneiras: ferramenta para produção de mapas; suporte para análise espacial dos fenômenos; e banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação da superfície da Terra. Ainda conforme os autores, os SIG devem possuir componentes que se relacionam entre si: interface; entrada e integração de dados; consulta e análise espacial; visualização e plotagem; e sistema de gerência de bancos de dados geográficos, Figura 7.

Figura 7 - Subsistemas de um Sistema de Informação Geográfico.



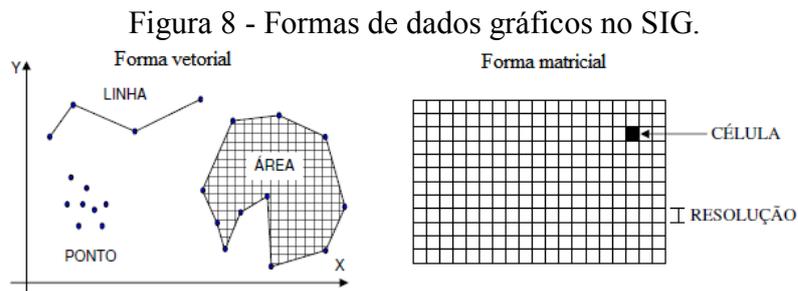
Fonte: Câmara, Davis e Monteiro (2001)

Em ambiente SIG é possível tratar relações espaciais entre os objetos dispostos geograficamente no espaço, bem como realizar análises estatísticas, armazenamento, integração e interpolação entre dados. Para Higashi (2006) uma característica importante do SIG é produzir novas informações a partir de um banco de dados geográficos, tornando-se uma ferramenta fundamental frente ao ordenamento territorial, estudo de impacto ambiental, e outros casos onde a informação final é gerada a partir de levantamentos básicos. Nesse sentido, Rodrigues (2013) traz que a criação de cenários através de um banco de dados possibilita o desenvolvimento territorial urbano de maneira ordenada e sustentável.

O referido sistema possui dois tipos de informações, as informações cartográficas (dados gráficos) e as alfanuméricas (não gráficos). Os dados gráficos, por sua vez são subdivididos em duas formas: vetorial ou matricial, conforme representado na Figura 8.

A representação em formato vetorial considera-se três elementos gráficos: pontos, linhas e polígonos. Os pontos são representados por um par de coordenadas, as linhas por uma sequência de pontos e polígonos por uma sequência de linhas, onde a coordenada do ponto

inicial e final coincidem. Exemplos dessas representações em ambiente SIG podem citar as ruas, divisões político-administrativas e redes de tráfego (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001). Já a representação matricial, segundo os autores, consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula. Cada célula ou *pixel* está associada a uma porção do terreno e lhe é atribuída um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador saiba a que elemento ou objeto pertence. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno.



Fonte: Adaptado de Higashi (2006).

## 2.5 SIG E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

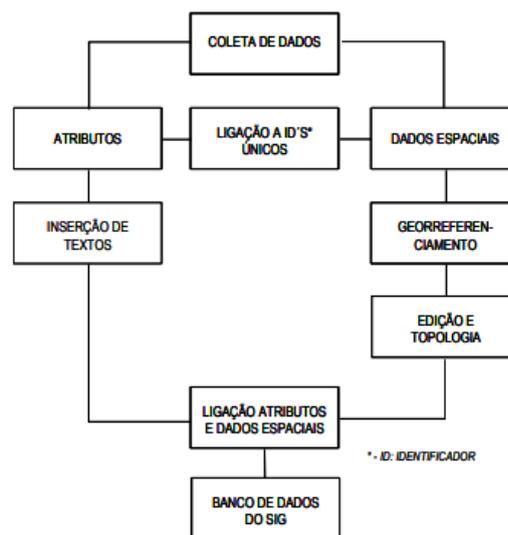
O SIG é amplamente utilizado no mapeamento geotécnico, uma vez que possibilita a elaboração dos mapas temáticos, análises e avaliações geotécnicas, contribuindo para um sistema de apoio a tomada de decisões. Diversos autores elaboraram trabalhos com a associação do SIG ao mapeamento geotécnico: Valente (1999), Davison Dias et al. (2002), Davison, Higashi e Martins (2002), Valério Filho et al. (2004), Souza (2000), Higashi (2006), Mafra Jr. (2007), Xavier (2010), Oliveira (2015), Thiesen (2016), Santos (2016), Caraméz (2017) e Fornasa (2018).

Na elaboração de um mapa geotécnico é indispensável a obtenção de inúmeras informações geográficas, alfanuméricas, imagens, dados de ensaios de campo e ou laboratório. Com o propósito de armazenar tais informações de forma organizada e prática utiliza-se um Sistema de Banco de Dados em ambiente computacional (CAMAREZ, 2017).

O banco de dados apresenta-se como um método de armazenamento e organização das informações ou arquivos referentes a uma determinada área de aplicação, seja um conjunto de aplicações circundando um conjunto de dados, ou ainda, um sistema computadorizado que guarda registros com objetivo geral de armazenar, manter e tornar a informação disponível aos diversos usos (DATE, 2004).

Os bancos de dados georreferenciados e interligados ao SIG, segundo Soares (2011), tem aplicação ampla em vários municípios brasileiros, contribuindo para atualização cadastral e cálculo de impostos territoriais ou planejamento de infraestrutura urbana. Para Augusto Filho (2005 apud RODRIGUES, 2013) o banco de dados acoplado em SIG, onde as informações armazenadas apresentam um atributo específico de coordenadas geográficas, apresentam o perfil mais adequado na criação de um banco de dados geotécnicos. A espacialização dos objetos geográficos constitui-se em importante atributo para o gerenciamento, interpretação e modelagem das informações. O banco de dados em SIG pode ser caracterizado, segundo o autor, por duas linhas principais de coleta de dados: atributos (textos e números) e dados espaciais (objetos geográficos), conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Projeto de um banco de dados em ambiente SIG.



Fonte: Teixeira e Christofolletii (1997 apud SOARES, 2011).

O uso de banco de dados no mapeamento geotécnico é utilizado com uma frequência considerável, uma vez que existem inúmeras vantagens no armazenamento das informações geotécnicas em banco de dados na forma digital. Uma das vantagens citada por Bastos (2005) é a facilidade na análise das informações no âmbito estatístico, determinístico ou paramétrico. Devido as vantagens da criação no banco de dados com informações de sondagens, também conhecido como banco de dados geotécnicos, tal técnica vem sendo utilizado em vários países desde a década de 1960. No sul do país, Caraméz (2017) cita estudos realizados nas cidades de

Porto Alegre, Tubarão, Florianópolis, Joinville, Curitiba, Brusque, bem como nas planícies costeiras do Rio Grande do Sul e litoral de Santa Catarina.

## 2.6 ANÁLISE ESPACIAL DE SUPERFÍCIES

A análise espacial é caracterizada como um procedimento que se utiliza da modelagem matemática com a finalidade de analisar os dados no espaço, permitindo verificações quanto à disposição e correlação entre eles.

Para o INPE (2004), a análise espacial consiste em compreender a distribuição espacial dos dados procedentes de fenômenos ocorridos no espaço. Portanto, é composta por um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo de interpolação que considere o relacionamento espacial entre os fenômenos. Neste contexto, Landim (2000) traz que a interpolação é definida como um procedimento matemático de ajuste de uma função de pontos não amostrados, tendo como base valores obtidos em pontos amostrados.

Estudos relacionados à distribuição espacial de dados estão se tornando cada vez mais frequentes, uma vez que tal análise é permitida utilizando-se um sistema de informação geográfica (SIG), de baixo custo e interfaces amigáveis, um banco de dados e uma base de dados geográfico. Tais análises podem ser aplicados nas mais diversas áreas do conhecimento, seja na saúde, na geologia, na agronomia, no meio ambiente, entre outras (INPE, 2004).

As técnicas de interpolação apresentam-se como uma extensa e considerável vantagem na maneira de representar a distribuição espacial de dados pontuais. Ao empregar a modelagem matemática pode-se utilizar modelos determinísticos ou estocásticos (geoestatísticos), cada qual com suas características, vantagens e desvantagens.

Os modelos determinísticos utilizam apenas a formulação matemática para o cálculo dos valores interpolados em função dos pontos vizinhos, enquanto que estocásticos utilizam além da formulação matemática, a estatística para a predição de valores desconhecidos.

Para o INPE (2004), os modelos determinísticos como a triangulação, média local das amostras e método da distância inversa apresentam limitações na representação espacial quando os dados se encontram dispersos, uma vez que desconsideram as características do meio e a continuidade do fenômeno que se quer observar.

As estimativas geoestatísticas são, em geral, superiores ao demais métodos de interpolação numérica, pois fazem uso da função variograma, que não é simplesmente uma

função da distância entre pontos, mas dependente da existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Para Alessi (2011), a estatística clássica realiza a verificação da distribuição de frequência dos dados, enquanto a geoestatística, como a krigagem, relaciona a interpretação da distribuição estatística, bem como a correlação espacial das amostras. Devido a geoestatística associar a distribuição estatística dos dados no espaço, torna-se uma ferramenta de extrema importância para análise de dados geotécnicos.

Segundo Landim (2000), a utilização do modelo geoestatístico, por meio da krigagem, é reconhecida a melhor e de grande aplicabilidade aos mapeamentos do solo. Para Reinert (2011) o solo apresenta uma variabilidade espacial em várias das suas características, portanto a utilização da krigagem contribui de forma significativa para uma análise espacial da variância dessas características. Sendo assim, utilizou-se na presente pesquisa o modelo geoestatístico da krigagem.

### **2.6.1 Krigagem**

A krigagem é definida por Yamamoto e Landim (2013) como um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço ou tempo, com base nos valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. Segundo os autores tal método pode ser comparado com os métodos tradicionais de estimativa, porém apresenta a diferença de somente a krigagem apresentar estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado.

O termo krigagem é uma homenagem a Daniel D. Krige, o qual introduziu o modelo matemático em 1951 na Escola Francesa de Geoestatística ao realizar estudos para estimação de reservas minerais (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

A krigagem segundo o INPE (2004) é um conjunto de métodos de estimação e previsão de superfícies baseada na modelagem da estrutura de correlação espacial, sendo que sua estrutura teórica está baseada no conceito de variável regionalizada. Entre as variáveis regionalizadas deve existir uma continuidade espacial, permitindo assim que os dados obtidos por amostragem de certos pontos possam ser utilizados para parametrizar a estimação de outros pontos, onde o valor da variável é desconhecido (LANDIM, 2000).

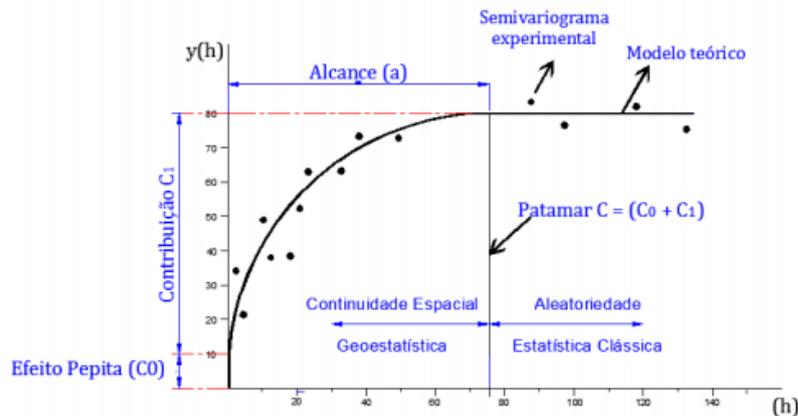
Para Yamamoto e Landim (2013) a aplicação da krigagem necessita da existência e análise do variograma, o qual é definido pela Equação 6 e representado na Figura 10. Santos

(2016) define o variograma como uma função que permite medir a semelhança os pontos vizinhos de uma amostra, mostrando o grau de dependência espacial entre as amostras e permitindo observar assim a distância máxima no qual os valores ainda apresentam correlações.

Landim e Sturaro (2002) afirmam que o termo mais adequado para o variograma seria semivariograma, uma vez que a somatória de diferenças ao quadrado é dividida pelo dobro no número de pares de valores, porém, é usual o emprego do termo variograma uma vez que é mais sintético.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (6)$$

Figura 10 - Semivariograma experimental, modelo teórico e seus parâmetros.



Fonte: Landim e Sturaro (2002 apud DIAS, 2013).

Após a confecção dos semivariogramas dos valores experimentais, procura-se ajustar um modelo matemático que represente o mais próximo possível a configuração dos mesmos. Dentre os modelos de (semi)variograma, pode-se destacar, o modelo exponencial, esférico, gaussiano, linear, cúbico, circular, K-bessel, J-bessel, etc. Embora possa existir uma infinidade de funções que se ajustem aos semivariogramas experimentais, a prática tem mostrado que alguns modelos, fundamentados nas suposições teóricas das variáveis regionalizadas, têm satisfeito a maioria das suas aplicações. Salienta-se que os semivariogramas exponencial, esférico e circular são os mais usados na prática.

Após obtido o variograma da amostra define-se o tipo de krigagem a ser utilizada: simples, ordinária ou indicativa. A krigagem simples é utilizada quando a média é estaticamente constante para toda a área; a ordinária considera a média flutuante ou móvel por toda a área; e a indicativa consiste na aplicação da krigagem ordinária, porém, utiliza a codificação ou

transformação dos valores que estão abaixo ou acima de um determinado valor de referência (LANDIM e STURARO, 2002).

Para Alessi (2011) uma das vantagens principais da krigagem está relacionada com a eliminação dos erros de excesso devido a ponderação das amostras, permitindo uma maior precisão. A krigagem leva em consideração o número, posições, distâncias e zonas das amostras a serem estimadas, bem como continuidade espacial. Ainda para o autor, a krigagem é reconhecida como das melhores estimativas lineares e não tendenciosas. Portanto, Yamamoto e Landim (2013) ressaltam que é de suma importância na referida estimativa que o variograma tenha sido elaborado adequadamente e os dados transformados caso se faça necessário. Landim (2000) apresenta algumas vantagens e desvantagens, bem como quando usar e quando não usar a krigagem conforme Quadro 8.

Quadro 8 - Vantagens, desvantagens, quando usar e quando não usar a krigagem.

<b>Vantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valores estimados baseiam-se no variograma; se for apropriado, fornece as seguintes informações:</li> <li>• Parâmetros adequados de busca: tamanho da área de busca, forma (circular ou elipsoide) e, se elipsoide, orientação do eixo principal;</li> <li>• Parâmetros adequados da grade: tamanho das células, forma e orientação;</li> <li>• Natureza da distribuição espacial da variável investigada: uniformidade da distribuição, importância relativa da influência espacial x casual;</li> <li>• Evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados;</li> <li>• Permite a determinação das melhores estimativas sem tendenciosidade: o melhor estimador é aquele que produz a melhor precisão (menor variância);</li> <li>• Permite o estabelecimento de limites de confiança, indicando se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada;</li> <li>• Precisão, contornos suaves, artefatos indesejáveis raros a não ser nas bordas do mapa.</li> <li>• Interpolador exato.</li> <li>• Estima além dos limites máximo e mínimo dos valores dos pontos amostrados.</li> <li>• Modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais.</li> <li>• Calcula variâncias dos pontos estimados (erros), que podem ser utilizadas para:</li> <li>• Calcular intervalos de confiança para verificar a probabilidade de os valores ocorrerem dentro de um intervalo de <math>\pm 2</math> unidades de desvio padrão da média.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• O usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e apesar destes resultados são sempre obtidos.</li> <li>• Pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido à natureza da variação espacial da variável analisada.</li> </ul>
<b>Quando usar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estiverem presentes tanto tendências regionais quanto anomalias locais.</li> <li>• Anomalia local não presente em toda a área, por ex. em ambiente fluvial.</li> <li>• Quiser estimar com base em uma média global.</li> <li>• Tiver dados irregularmente amostrados ou agrupados (clustered).</li> </ul>
<b>Quando não usar</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos de 30 pontos amostrados: número insuficiente de pares para modelar o variograma.</li> <li>• Erro grande e inexplicado (efeito pepita pronunciado).</li> <li>• Amostras de populações diversas</li> </ul>

Fonte: adaptado de Landim (2000).

Na geotecnia a aplicação principal de geoestatística tem sido na caracterização da variabilidade espacial dos parâmetros geotécnicos “in-situ”. Dentro de um projeto geotécnico, o emprego de técnicas da geoestatística constitui-se numa importante ferramenta para o modelamento de variáveis de natureza estratigráfica e hidráulica do local a ser implantada uma obra, bem como, na avaliação da quantidade, distribuição e representatividade dos parâmetros geotécnicos (Soulié, 1984 apud STURARO, 2015).

Pode-se citar alguns autores que utilizaram em suas pesquisas e comprovaram a eficácia e confiabilidade da krigagem. Fonteles (2003) realizou a caracterização geotécnica através das técnicas de krigagem e dados de sondagem SPT para a porção nordeste do município de Fortaleza/CE. Kraemer (2007) utilizou da técnica para espacialização dos atributos do solo e delimitação das unidades de mapeamento no Centro de Estações Experimentais do Cangüiri da UFPR na cidade Pinhais/PR. Soares (2011) empregou a krigagem na análise espacial da profundidade do lençol freático e do  $N_{SPT}$  para obras de fundação em João Pessoa/PB. Seguindo a mesma linha de pesquisa Santos (2016) e Thiesen (2016) aplicaram o método para a elaboração das cartas de aptidão para fundação, o primeiro para o campus da UFSC na cidade de Florianópolis/SC e o segundo para a zona urbana da cidade de Blumenau/SC.

### 2.6.2 Resolução espacial

A resolução espacial é apresentada por Higashi (2006) e Silva (1999) como um conceito muito importante quando utilizados em dados espacial, uma vez que determina a confiabilidade dos dados gerados.

Toublér (1979 apud HIGASHI, 2006) define a resolução espacial de dados georreferenciados ( $R$ ) como o conteúdo do domínio geométrico dividido pelo número de observações, definido pela Equação (7)

$$R = \sqrt{\frac{\text{Área}}{\text{Número de observações}}} \quad (7)$$

Observa-se que a resolução está intimamente ligada ao número de observações. Silva (1999) afirma que quanto maior o número de observações mais alta será a resolução, enquanto que quanto menor o número de observações mais baixa será a resolução. Para INPE (2004) no domínio digital a resolução espacial da base de dados é mais relevante que a escala, uma vez que é um dos elementos de controle para a generalização.

Para Thiesen (2016) a resolução espacial é conhecida como a mínima distância para distinção de dois objetos, sendo um parâmetro aplicável à nitidez de uma imagem. A resolução espacial de uma imagem refere-se ao tamanho que um pixel representa na realidade, quanto menor for o tamanho real no pixel, maior será a resolução espacial desta imagem, o que significa que maior será a capacidade de registrar objetos dispostos na superfície terrestre. A autora

apresenta um resumo da resolução espacial obtidas em estudos onde são abordados análise espacial e banco de dados geológicos-geotécnicos a partir da aplicação da Equação 7.

Quadro 9 - Resolução espacial obtidas em estudos realizados.

<b>Autores</b>	<b>Descrição da aplicação do estudo</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>	<b>Sondagens SPT/km<sup>2</sup></b>
Fonteles et al. (2006)	Modelagem do lençol freático no nordeste de Fortaleza/CE	591	2,9 furos/km <sup>2</sup> (44 km <sup>2</sup> e 126 sondagens SPT)
Soares (2011)	Análise espacial do lençol freático em João Pessoa/PB	260	14,8 furos/km <sup>2</sup> (10,7 km <sup>2</sup> e 158 furos SPT)
Soares (2011)	Análise espacial do N <sub>SPT</sub> em João Pessoa/PB	276	13,1 furos/km <sup>2</sup> (13,8 km <sup>2</sup> e 181 furos SPT)
Thiesen (2016)	Modelagem do lençol freático, impenetrável à percussão e N <sub>SPT</sub> para zona urbanizada de Blumenau/SC	1.410	2,0 furos/km <sup>2</sup> (207,2 km <sup>2</sup> e 104 grupos de SPT)
Santos (2016)	Aplicação de SIG para análise do perfil geológico-geotécnico do campus sede da UFSC e elaboração de cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT	44,41	507 furos/ km <sup>2</sup> (1,0 km <sup>2</sup> e 507 furos SPT)

Fonte: adaptado de Thiesen (2016).

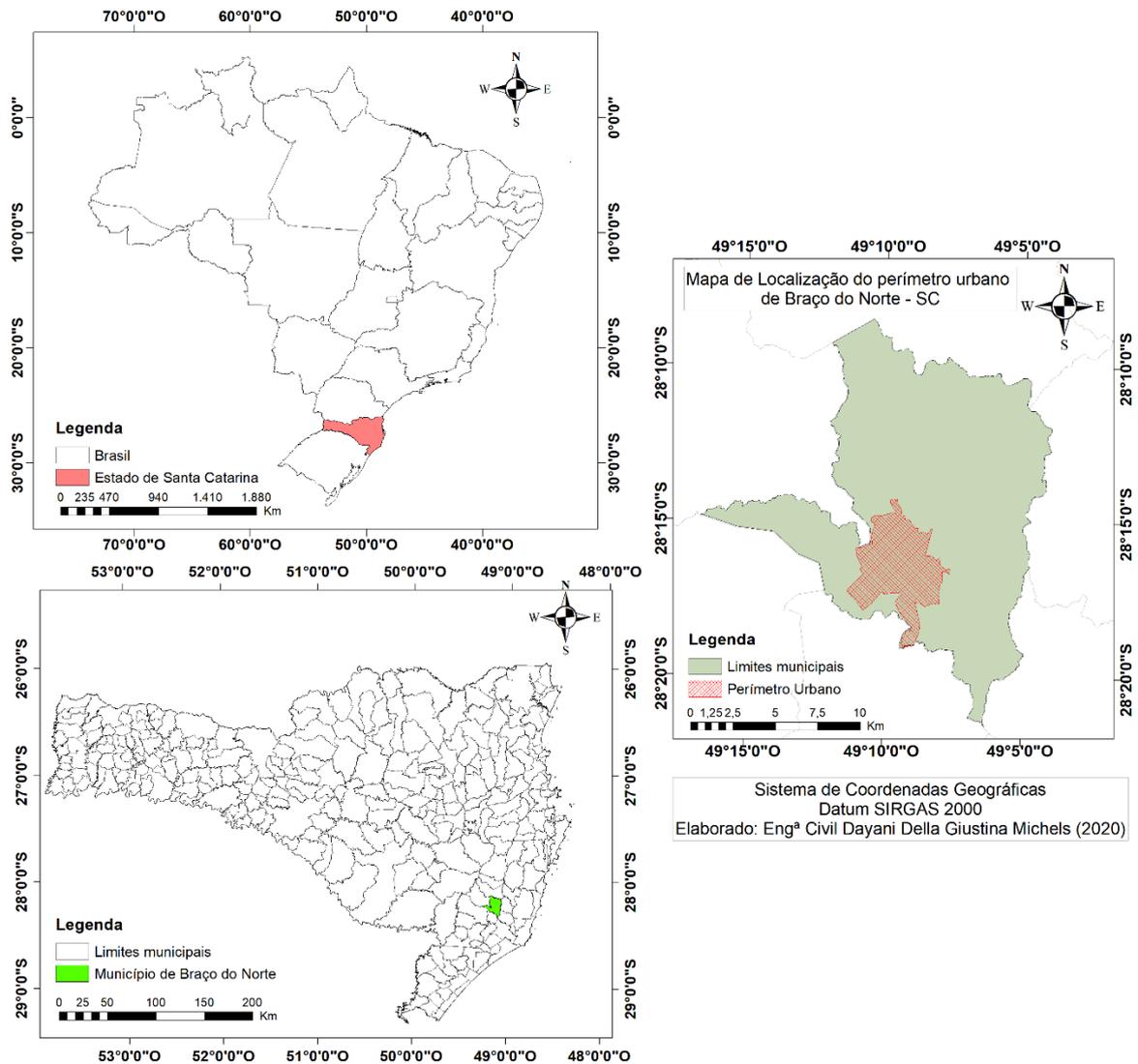
### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Braço do Norte localiza-se no vale do Rio Braço do Norte, região sul do Brasil, no estado de Santa Catarina, abrangendo uma área total de 212,296 km<sup>2</sup>. O referido município encontra-se delimitado os municípios de Rio Fortuna, Armazém, Gravatal, São Ludgero, Orleans e Grão Pará.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em 2010, o município possuía 29.018 habitantes e uma densidade populacional de 136,97 hab/m<sup>2</sup>. Para o ano de 2019 estimou-se um crescimento populacional de 15,27%, alcançando 33.450 habitantes.

A área de estudo do presente trabalho compreende a área urbana de Braço do Norte/SC localizada ao sudoeste do município, conforme representada na Figura 11.

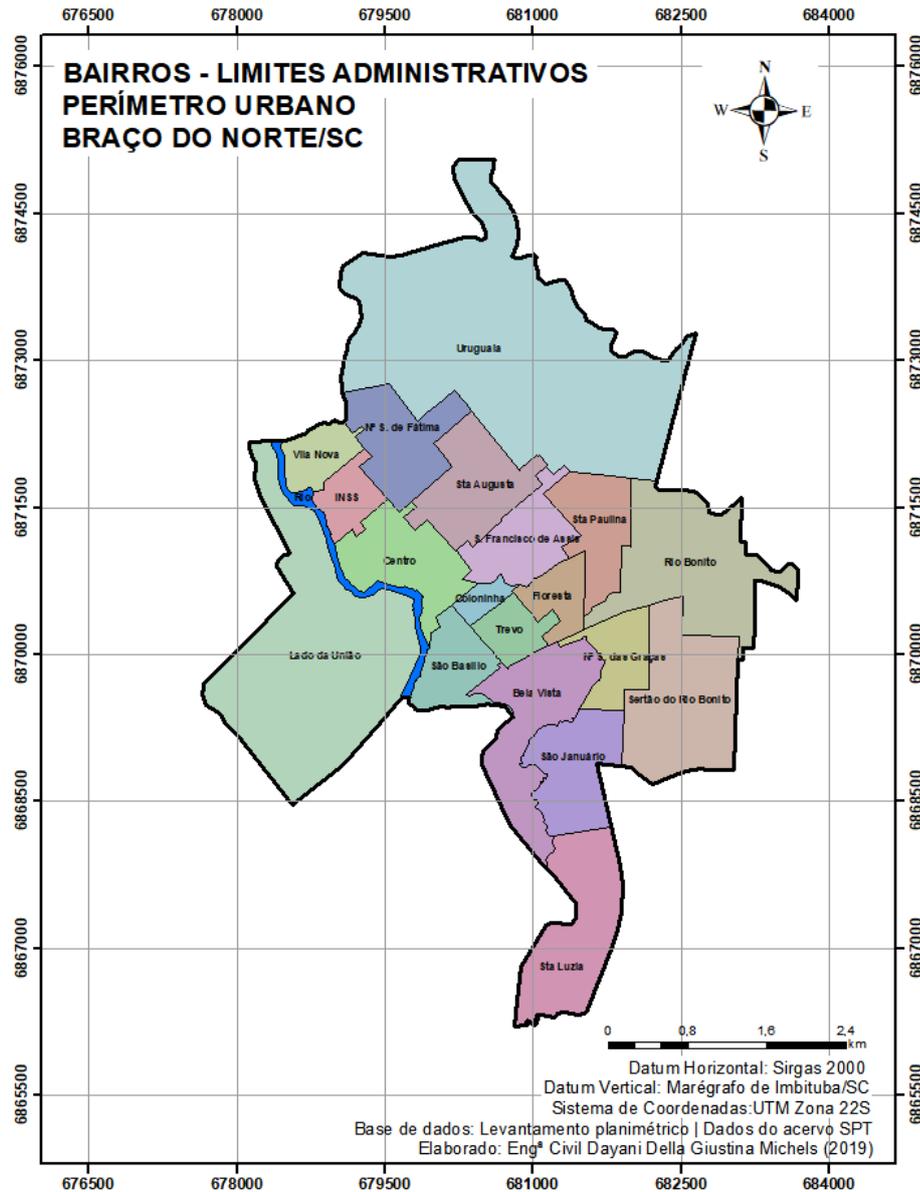
Figura 11 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O perímetro urbano foi definido e dividido no ano de 1999, após uma série de atualizações nas leis municipais. Atualmente a área urbana conta com 23,54 km<sup>2</sup> e dezenove bairros: Centro, Bela Vista, Coloninha, Floresta, INSS, Nossa Senhora de Fátima, Rio Bonito, Santa Augusta, São Basílio, São Francisco de Assis, São Januário, Trevo, Uruguaia, Vila Nova, Nossa Senhora das Graças, Lado da União, Santa Paulina, Sertão do Rio Bonito e Santa Luzia, representada na Figura 12.

Figura 12 – Limite administrativo do perímetro urbano de Braço do Norte.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No ano de 2019, foi iniciada a revisão do Plano Diretor e a expansão do perímetro urbano do município, portanto ressalta-se que na data da elaboração da presente pesquisa as alterações não estavam aprovadas. Sendo assim, utilizou-se a delimitação do perímetro urbano em vigência na data de elaboração da pesquisa.

### 3.1 FATORES CLIMÁTICOS

O clima da área de estudo é definido por Koeppen como subtropical úmido – Cfa, com verões quentes. Os meses mais quentes (com temperaturas máximas médias acima de 25 °C)

são janeiro, fevereiro, março e dezembro. Por outro lado, tem-se em julho o mês mais frio com temperatura mínima na média de 7,8 °C. Os índices pluviométricos são mais baixos no verão e no final da primavera, aumentando consideravelmente entre os meses de setembro e outubro. Anualmente espera-se uma precipitação média entre 1.300 e 1.600 milímetros.

### 3.2 ASPECTOS FÍSICOS

O município de Braço do Norte encontra-se inserido na Bacia do rio Tubarão e Complexo Lagunar e Sub-bacia do rio Braço do Norte, o qual possui seu principal rio o Rio Braço do Norte.

A Floresta Ombrófila Densa constitui a cobertura vegetal da área de estudo, estando na sua maior parte descaracterizada pela extração de madeira ou devastação para dar lugar às culturas cíclicas e/ou a pastagem para criação de gado. Segundo IBGE (2012), a referida floresta apresenta-se em relevo montanhoso e em planaltos com solos medianamente profundos. Esta formação é caracterizada por espécies que variam de acordo com a latitude, ressaltando-se também a importância do fator tempo nesta variação ambiental.

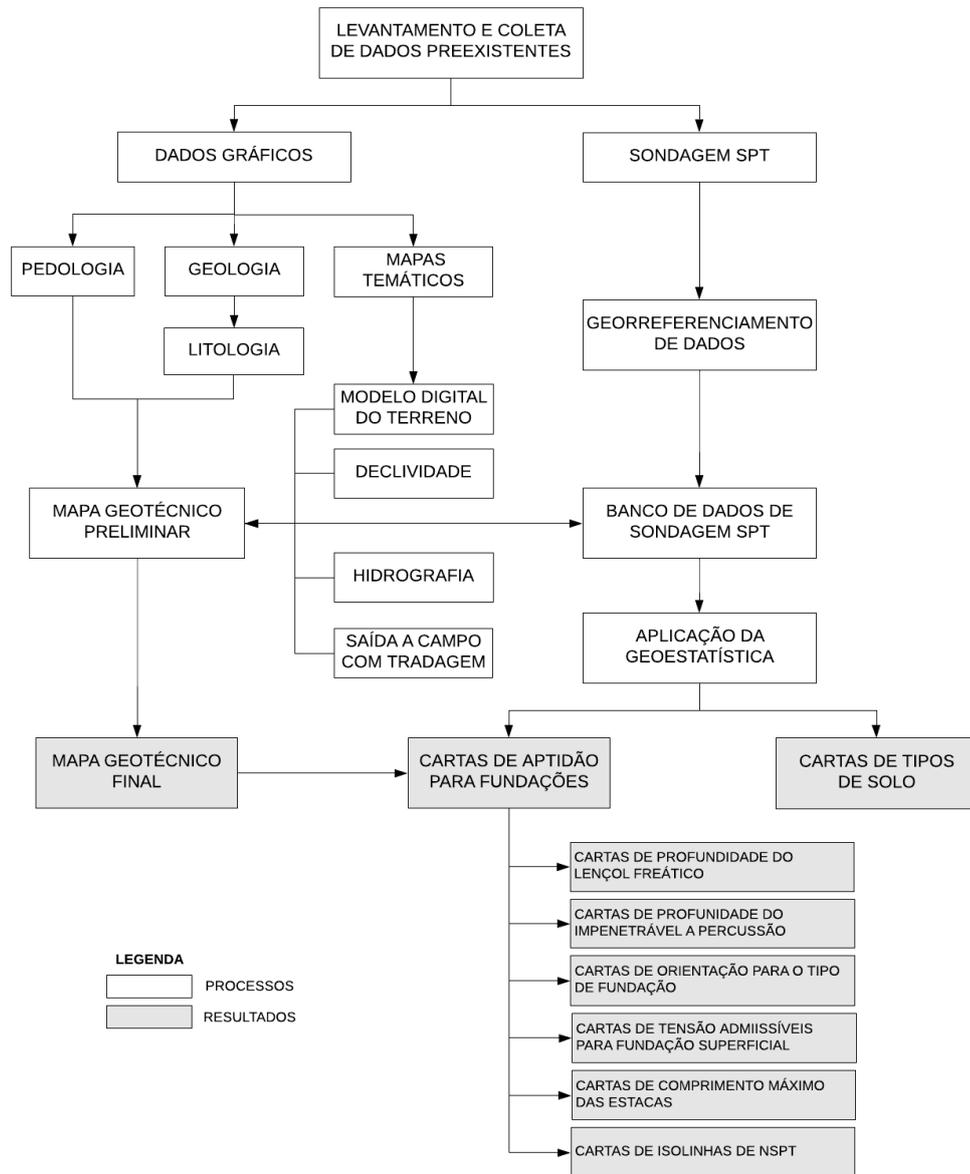
O município apresenta a maior parte do seu relevo classificado como ondulado (declividade entre 8% e 20%) em 51,59% de sua área. A parte urbana localiza-se no entorno do Rio Braço do Norte, onde a declividade é majoritariamente plana e suavemente ondulada.

De posse dos dados dos mapas geológicos da CPRM (2000) e Fornasa (2018), a área de estudo é composta pelas seguintes formações: Granito Imaruí-Capivari, Depósitos aluvionares, Formação Rio do Sul e Granito Santa Rosa de Lima. Quanto a pedologia, o perímetro urbano de Braço do Norte, segundo a EMBRAPA (2006), é constituído por duas unidades: Podzólico Vermelho-Amarelo (Argissolo) e Cambissolo.

## 4 MATERIAIS E MÉTODO

No presente capítulo, serão abordados os materiais e o método utilizados na elaboração da presente pesquisa. O fluxograma, apresentado na Figura 13, aborda as etapas para o desenvolvimento do mapa geotécnico, cartas de tipos de solo e aptidão para fundações para o perímetro urbano de Braço do Norte/SC.

Figura 13 - Fluxograma de metodologia para desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.1 LEVANTAMENTO E COLETA DE DADOS PREEXISTENTES

Além da pesquisa bibliográfica para o desenvolvimento do presente estudo, foram obtidos dados junto à Secretaria de Estado de Desenvolvimento Sustentável (SDS), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Prefeitura Municipal de Braço do Norte (PMBN), aos pesquisadores, às empresas privadas e aos engenheiros civis.

Os dados obtidos, vinculadas ao órgão responsável pelo fornecimento, estão dispostos no Quadro 10.

Quadro 10 – Dados, fonte, formato, ano e escala dos dados obtidos.

<b>Dados</b>	<b>Fonte</b>	<b>Formato</b>	<b>Ano</b>	<b>Escala</b>
Carta pedológica	EMBRAPA	<i>shp</i>	2004	1:250.000
Carta geológica	Fornasa e CPRM	<i>shp</i>	2018 2000	1:100.000 1:250.000
Levantamento Planimétrico <sup>1</sup>	PMBN	<i>dwg</i>	2013	1:7.500
Modelo digital do terreno (MDT), hidrografia e imagem aerofotogramétrica	SDS	<i>shp</i>	2010	1:10.000
Laudos de Sondagens (63 laudos, 218 furos)	Empresas privadas, Eng. civis, PMBN	<i>dwg, pdf</i> e versão impressa.	-	-

<sup>1</sup> Limite do perímetro urbano, bairros, ruas, quadras e lotes.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Embrapa, CPRM e SDS apresentam os dados disponíveis na *web*. A SDS e a CPRM apresentam SIG próprios para o download dos materiais. Do Geologia.GIS foi obtida a carta geológica, e do SIGSC o modelo digital do terreno, a hidrografia e a imagem aerofotogramétrica com resolução espacial de 0,39m.

Os dados gráficos obtidos da Embrapa, SDS e CPRM apresentavam-se no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) – Meridiano Central 51°, Zona UTM 22S, *datum* Horizontal: WGS 84, *datum* Vertical: Marégrafo de Imbituba/SC.

Os laudos de sondagem SPT foram cedidos pelas empresas de sondagem e engenheiros civis projetistas após contato telefônico e e-mail.

## 4.2 TRATAMENTO DE DADOS

Com o objetivo de delimitar a área de estudo e o georreferenciamento das sondagens SPT, realizou-se o tratamento dos dados obtidos.

### 4.2.1 Dados gráficos

Os dados gráficos obtidos foram avaliados e manipulados a fim de compatibilizar com ambiente SIG. As cartas pedológica, geológica e hidrográfica foram disponibilizadas em formato *shapefile*; a imagem aerofotogramétrica e o modelo digital do terreno em formato *raster*.

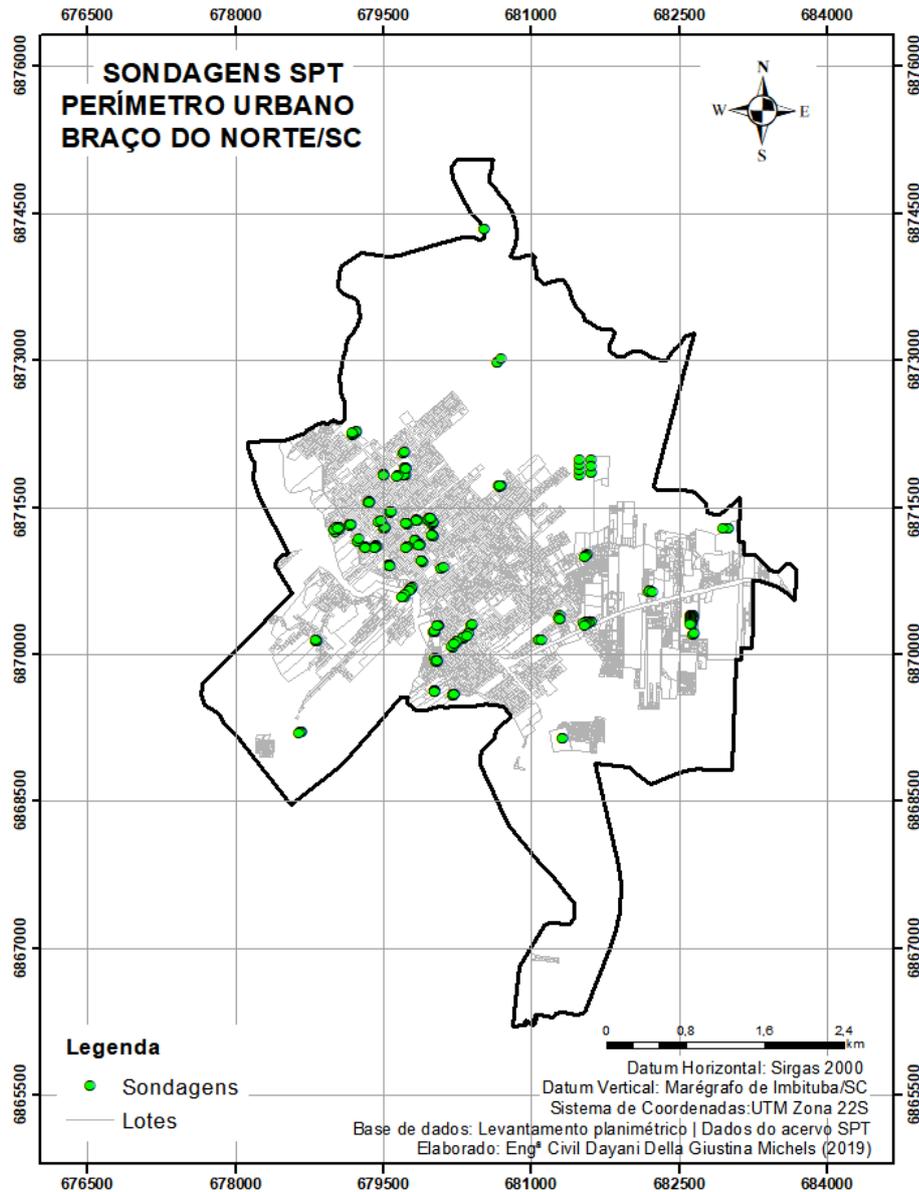
Quanto ao levantamento planimétrico, foi disponibilizado em *dwg* e com informações irrelevantes para a presente pesquisa. Portanto, os dados como número de pavimentos das edificações, inscrição imobiliária e bocas de lobo foram eliminados através da utilização de *software* de CAD. Os *layers* que traziam informações comuns foram agrupados e, informações como a delimitação dos bairros e do perímetro urbano representados por polilinhas, foram transformadas em polígonos.

#### **4.2.2 Sondagem SPT, criação e ajustes do banco de dados**

Os laudos de sondagens foram obtidos nos mais variados formatos (*dwg*, pdf e impressos), foram, portanto, realizados tratamentos preliminares à criação do banco de dados.

A maioria dos laudos não estava georreferenciado, uma vez que as coordenadas geográficas ou planas não estavam representadas. Com o auxílio do levantamento planimétrico, em ambiente CAD e o nome do empreendimento e/ou proprietário, foram localizados os furos e, posteriormente, georreferenciados em coordenadas planas. Após o georreferenciamento dos 218 furos de sondagens, foi realizada uma seleção e mantiveram-se 206 furos localizados dentro da área de estudo, conforme Figura 14.

Figura 14 - Georreferenciamento dos furos de sondagem.



Posteriormente, utilizou-se uma planilha eletrônica, onde foram inseridos os dados disponíveis dos laudos de cada furo e associados às coordenadas planas obtidas na etapa de georreferenciamento. A escolha dos dados a serem inseridos no banco de dados se deu de forma a possibilitar as posteriores análises geoestatísticas e a obtenção dos resultados esperados, bem como os trabalhos de Santos (2016) e Thiesen (2016), que apresentam objetivos semelhantes à presente pesquisa. O Quadro 11 traz as informações selecionadas para a confecção do referido banco de dados.

Para que todos os furos de sondagens sejam considerados nas análises e não permaneçam vazios, adotou-se o  $N_{SPT}$  igual a 50 golpes para camadas sob o impenetrável. A

escolha do número de golpes para o preenchimento sob o impenetrável foi baseada no critério de paralisação adotado pela NBR 6484/2001, e ainda, pela prática adotada nos estudos de Thiesen (2016) e Santos (2016).

Adotou-se as práticas de ajustes finos, descritas por Thiesen (2016) e Santos (2016), referentes à paralisação da sondagem antes de atingir o impenetrável, aos valores de  $N_{SPT}$  discrepantes com os demais laudos do grupo e à profundidade do nível d'água igual a zero ou não encontrada.

Onde o impenetrável não foi atingindo, por exemplo no grupo 26 - furo 86, devido ao pedido de paralisação solicitado pelo proprietário do terreno, adotou-se a profundidade do impenetrável e o nível de água do furo adjacente, furo 85.

Quadro 11 - Atributos inseridos manualmente no banco de dados.

<b>Atributo</b>	<b>Descrição</b>
ID_furo	Número identificador de cada furo de sondagem.
Grupo de Sondagem	Número identificador do grupo de furos associado a cada laudo.
X	Representa a coordenada E dos furos de sondagem, considerando a projeção UTM e sistema SIRGAS 2000.
Y	Representa a coordenada N dos furos de sondagem, considerando a projeção UTM e sistema SIRGAS 2000.
Data	Dia, mês e ano da realização da sondagem.
Prof_Imp	Profundidade do impenetrável a percussão (em metros) no furo de sondagem, considerando a cota inicial do furo igual a zero.
Prof_NA	Profundidade do nível de água encontrado (em metros) no furo de sondagem, considerando a cota inicial igual a zero.
Obs	Informações do laudo consideradas indispensáveis para análise do resultado.
Nspt_Xm	Número de golpes necessários para a cravar os 30 cm finais ( $N_{SPT}$ ) para cada "X" metros de profundidade do furo. Com o "X" variando de 1m até a profundidade do impenetrável.
Tipo_solo	Tipo de solo segundo sua origem, identificado de acordo com as informações contidas nos laudos.
Solo_Xm	Tipo de solo classificado segundo sua granulometria predominante. Com o "X" variando de 1m até a profundidade do impenetrável.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em furos onde foram encontrados o nível da água igual a zero, por exemplo no grupo 57 - furo 177 e grupo 43 - furos 150 e 151, o laudo apresenta observações como lâmina de água e terreno inundado, respectivamente. Localizou-se os furos e realizou-se a veracidade das informações: para o furo 177, Figura 15, foi mantido NA igual a 0,00, uma vez que o mesmo se encontra dentro no Rio Braço do Norte; para os furos 150 e 151, Figura 16, foram analisadas as imagens aerofotogramétrica, os NA dos furos do entorno e o relatório fotográfico constante



Para os solos residuais, segundo a autora, a granulometria aumenta com o aumento da profundidade, assim como o  $N_{SPT}$ , o qual cresce até chegar no impenetrável. As cores apresentam-se em tons quentes, como vermelho, amarelo, marrom e variegado.

Para complementação da classificação do solo quanto a origem, analisou-se o relevo. Solos residuais localizam-se em partes mais elevadas de uma encosta, enquanto os solos sedimentares, geralmente, são encontrados em pé de encostas e regiões planas.

A fim de possibilitar o desenvolvimento das cartas de tipos de solos, considerou-se na classificação granulométrica a granulometria predominante em cada camada de 1,00 metro, atribuindo os valores representados no Quadro 12.

Quadro 12 - Atributos adotados a granulometria

<b>Atributo</b>	<b>Descrição</b>
1	Argila
2	Silte
3	Areia
4	Pedregulho
5	Rocha

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Após a composição do banco de dados com os atributos disponibilizados exclusivamente nos laudos SPT, o banco de dados, disposto na planilha eletrônica, foi inserido em ambiente SIG e convertido para arquivo *shapefile*, as informações nela contidas foram associadas automaticamente por meio do identificador (ID) de cada furo de sondagem.

Em um segundo momento, foram incorporados novos atributos no banco de dados, conforme descritos no Quadro 13, de modo a possibilitar o cruzamento com os dados gráficos.

Quadro 13 - Atributos obtidos a partir do cruzamento dos dados gráficos ao banco de dados.

Atributo	Descrição
Cota	Altitude inicial de cada furo de sondagem, a partir do cruzamento da localização do furo de sondagem com o MDT ( <i>datum</i> vertical marégrafo de Imbituba/SC).
Cota_imp	Altura do impenetrável considerando o <i>datum</i> vertical marégrafo de Imbituba/SC. Obtido a partir da subtração da altitude inicial do furo de sondagem (cota) da profundidade do impenetrável a percussão (Prof Imp)
Cota_NA	Altura do nível da água considerando o <i>datum</i> vertical marégrafo de Imbituba/SC. Obtido a partir da subtração da altitude inicial do furo de sondagem (cota) da profundidade do nível da água encontrado no laudo (Prof NA).
Declividade	Declividade do terreno (%). Obtido a partir do cruzamento da localização do furo de sondagem com o mapa de declividade.
Unid_Geotécnica	Unidade geotécnica encontrada em cada furo. Obtida através do cruzamento da localização do furo da sondagem com o mapa geotécnico

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ressalta-se que o campo “Declividade” foi obtido após a criação do mapa de declividade descrito no item 4.3.1.2 e o atributo “Unid. Geotécnica” após os ajustes no mapeamento geotécnico preliminar, previstos no item 4.3.2. A tabela de atributos do banco de dados de sondagem SPT após a inserção dos dados descritos encontra-se representada na Figura 17.

Figura 17 – Exemplo da tabela de atributos do banco de dados oriundos das sondagens SPT.

ID_furo	Grupo	X	Y	Data	Prof Imp	Prof NA	Obs	Nspst 1m
ID_furo84	25	67997	687139	21/10/2016	16,4	4		4
ID_furo85	26	67969	687205	13/06/2011	25,7	9,6		10
ID_furo86	26	67970	687206	13/06/2011	8,45	8,45	A sondagem não atingiu o impenetrável.	11
ID_furo87	27	67973	687109	17/05/2016	7,1	1,2		6
ID_furo88	27	67972	687108	17/05/2016	5,75	1,1		7
ID_furo89	28	67901	687124	14/06/2017	4,05	0,6		9
ID_furo90	28	67902	687126	14/06/2017	3,85	0,6		10
ID_furo91	28	67900	687126	14/06/2017	4,15	0,6		6
ID_furo92	29	67923	687115	02/09/2017	6,08	0,9		12
ID_furo93	29	67924	687117	02/09/2017	6,05	0,9		12
ID_furo94	30	68020	686957	29/01/2017	12,41	3		5
ID_furo95	30	68019	686958	29/01/2017	13,45	3		5
ID_furo96	30	68021	686958	29/01/2017	13,45	3		5
ID_furo97	30	68020	686959	29/01/2017	13,45	3		5
ID_furo98	31	68264	687020	06/06/2017	14,45	1,4		7
ID_furo99	31	68264	687021	06/06/2017	10,45	1,4		7

ID_furo	Tipo solo	Solo 1m	COTA	Cota Imp	Cota Na	Decliv	Unid Getec
ID_furo84	Sedimentar	1	68,8868	52,486803	64,886803	7,71751	
ID_furo85	Residual	1	75,915	50,215001	66,315001	0,496096	
ID_furo86	Residual	1	76,1264	67,676404	67,676404	7,30376	
ID_furo87	Sedimentar	1	64,4141	57,314101	63,214101	0,689718	
ID_furo88	Sedimentar	1	64,3228	58,5728	63,2228	0,726147	
ID_furo89	Sedimentar	1	64,7896	60,739597	64,189597	0,572476	
ID_furo90	Sedimentar	1	64,7483	60,898299	64,148299	0,735241	
ID_furo91	Sedimentar	1	64,5712	60,421198	63,971198	2,65707	
ID_furo92	Residual	1	64,2378	58,157801	63,337801	0,41079	
ID_furo93	Residual	1	64,2378	58,157801	63,337801	0,583708	
ID_furo94	Residual	1	59,7275	47,317501	56,727501	4,32351	
ID_furo95	Residual	1	60,1335	46,683499	57,133499	4,46845	
ID_furo96	Residual	1	60,1248	46,674802	57,124802	3,49946	
ID_furo97	Residual	1	60,1773	46,727299	57,177299	1,1753	
ID_furo98	Residual	2	72,0214	57,5714	70,6214	6,08469	
ID_furo99	Residual	2	72,1875	61,7375	70,7875	7,80414	

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

### 4.2.3 Investigação a campo

As investigações a campo para a diferenciação dos solos residuais ou sedimentares foram realizadas por meio da tradagem. A identificação dos horizontes superficiais do solo possibilitou, juntamente com mapa de declividade e modelo digital do terreno (MDT), o refinamento do mapa geotécnico preliminar e a incorporação do atributo “Tipo\_de\_solo” no banco de dados de sondagem SPT.

Foram realizadas 16 tradagens em faixas de mudança de declividade, sendo 5 realizadas com o trado com diâmetro de 8” e comprimento de 120cm e os 11 furos restantes com trado do tipo holandês com 120cm de comprimento, ponteira de 20cm e diâmetro interno da ponteira de 1,5”. Para o georreferenciamento dos pontos analisados foi utilizado o GPS modelo GPSMAP64 da GARMIN.

## 4.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

A fim de possibilitar a elaboração dos mapas temáticos, o refinamento do mapa geotécnico e a elaboração das cartas de aptidão para fundações e de solo, após o tratamento, descrito no item 4.2.1, os dados gráficos foram importados em ambiente SIG, utilizando-se do *software* GIS.

As informações gráficas georreferenciadas importadas são listadas no Quadro 14.

Quadro 14 – Informações gráficas tratadas e importadas em ambiente SIG.

<b>Informação gráfica</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte</b>
Pedologia	Polígonos associados à classificação do solo de acordo com as suas características	Carta de solos Santa Catarina (EMBRAPA)
Geologia	Geometria associada as formações geológicas existentes.	Mapa Geológico (Fornasa, 2018)
Limites do perímetro urbano	Limite Geográfica da área de estudo e limite dos bairros	Levantamento Planimétrico (PMBN)
Bairros	Limite Geográfico dos bairros existentes dentro da área de estudo	Levantamento Planimétrico (PMBN)
MDT	Representação das características topográficas.	Levantamento Aerofotogramétrico (SDS)
Hidrografia	Representação dos cursos d’água existentes.	Levantamento Aerofotogramétrico (SDS)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em 2015, o IBGE adotou oficialmente como o novo sistema de referência o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000). Dessa forma, todos os dados foram reprojatados para o sistema de coordenadas Universal Transverso de Mercator (UTM), zona 22S, como *datum* horizontal: Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas em 2000 (SIRGAS 2000) e *datum* vertical: Marégrafo de Imbituba/SC.

#### **4.3.1 Elaboração dos mapas temáticos**

Com os arquivos devidamente tratados é possível conhecer as máximas e mínimas elevações do perímetro urbano de Braço do Norte/SC, bem como a declividade e hidrografia.

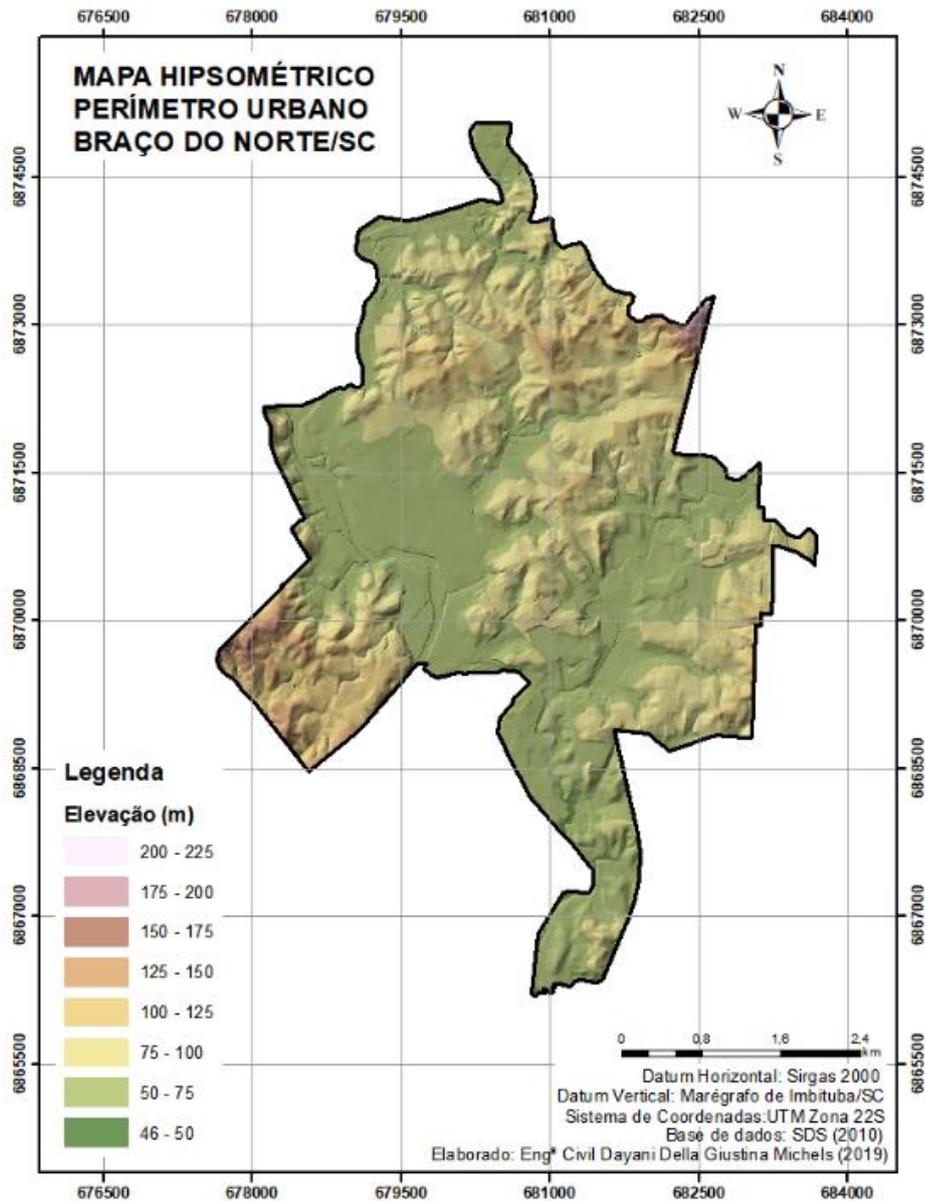
##### *4.3.1.1 Mapa Hipsométrico*

A topografia da área pode ser representada no SIG pelo mapa hipsométrico, o qual utiliza-se para calcular os valores que descrevem a altimetria de uma determinada região ou área de estudo. O mapa hipsométrico pode ainda representar ou fornecer informações geomorfológicas, como características especiais do relevo, que traduzem formas específicas, tais como: cumeadas, talwegues, etc., bem como as discontinuidades da superfície, como falhas geológicas.

O Mapa Hipsométrico tem como objetivo representar graficamente a altimetria do perímetro urbano de Braço do Norte/SC e auxiliar na diferenciação preliminar entre os solos sedimentares e residuais, na análise do Mapeamento Geotécnico Final e na elaboração das cartas de aptidão para fundação.

O mapa em questão foi elaborado a partir do recorte da área de estudo do levantamento aerofotogramétrico realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS) com resolução de 1m em ambiente SIG, representado na figura 18.

Figura 18 - Mapa Hipsométrico.

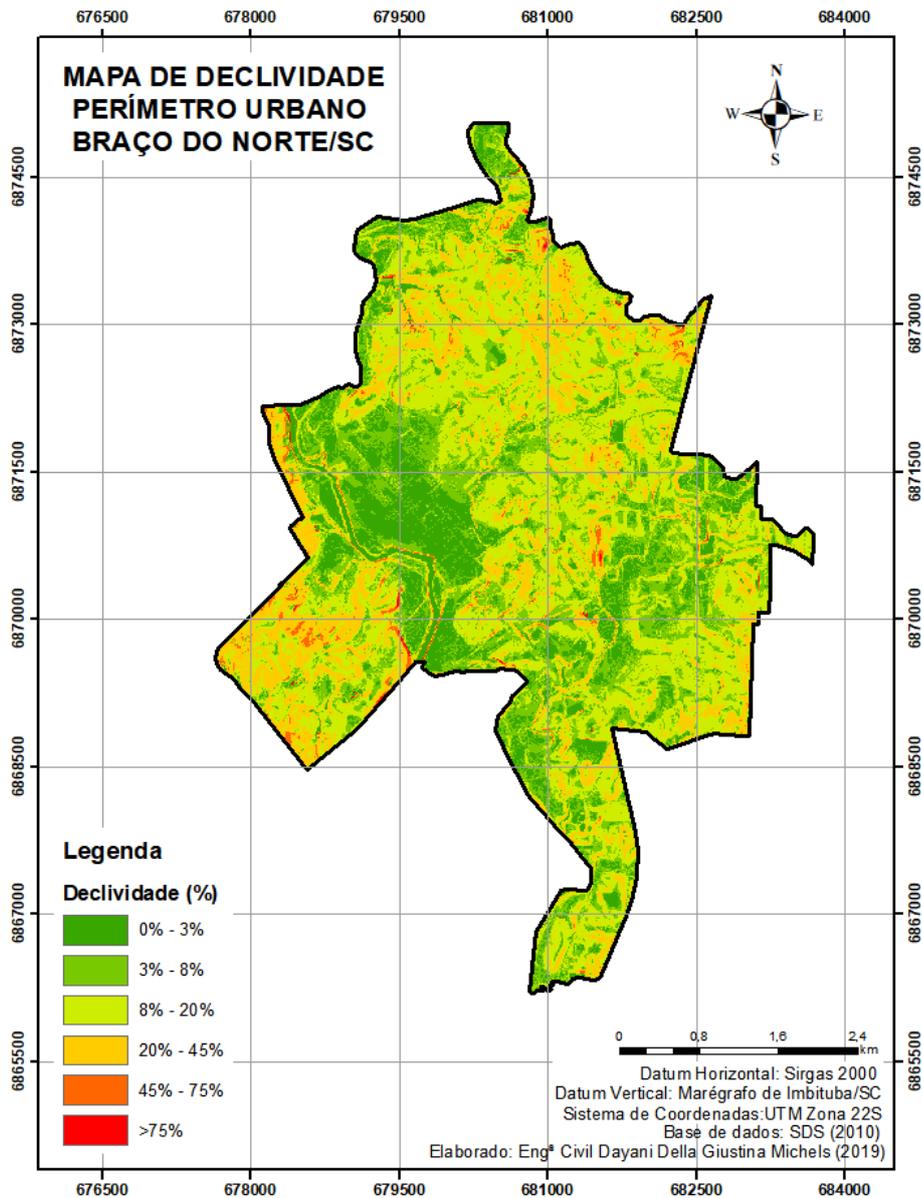


#### 4.3.1.2 Mapa de declividade

Para elaboração do mapa de declividade, utilizou-se o Modelo Digital do Terreno (MDT) em formato matricial, com os dados de elevação representado em cada célula (*pixel*) formando um *grid*.

O mapa de declividade está representado na Figura 19 com intervalos de declividade classificados conforme intervalos sugeridos pela Embrapa (2014), Quadro 15.

Figura 19 – Mapa de declividade.



Quadro 15 - Classes do relevo segundo Embrapa (2014).

Classe do relevo	Declividade
Plano	0% à 3%
Suave ondulado	3% à 8%
Ondulado	8% à 20%
Forte ondulado	20% à 45%
Montanhoso	45% à 75%
Escarpado	>75%

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2014).

O mapa de declividade permite caracterizar o relevo predominante da área, pois, segundo Higashi (2016), os solos seguem em uma sequência topográfica de desenvolvimento.

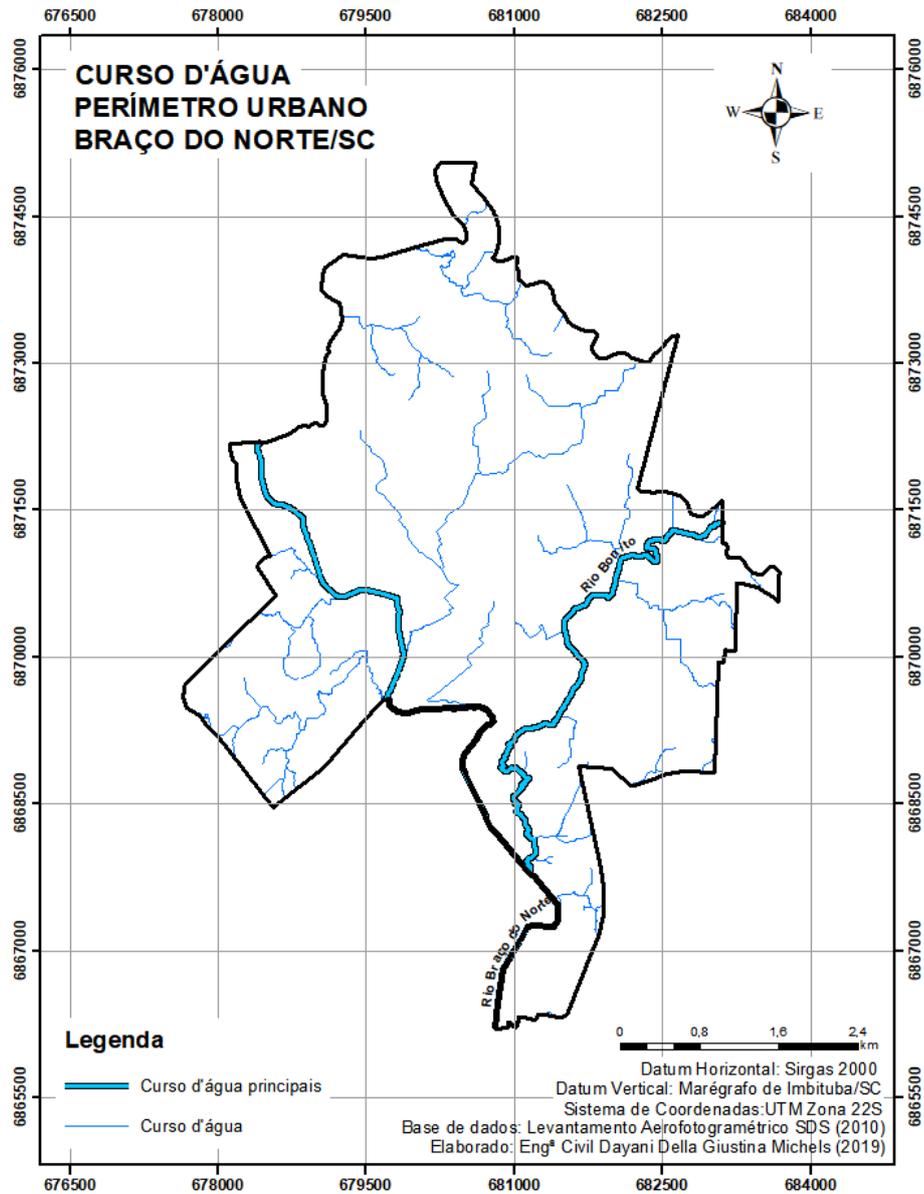
Juntamente com o MDT, o mapa de declividade objetivou a diferenciação entre os solos sedimentares e residuais. Para Santos (2016) com a posse do mapa de declividade pode-se extrair além da variável declividade, expressa em porcentagem, análises dos aspectos topográficos da região, assim como gerar novas informações quando associado a outros dados.

#### *4.3.1.3 Mapa da hidrografia*

Para a elaboração do mapa de hidrografia foram utilizados dados vetoriais disponibilizados pela SDS. Em ambiente SIG, o arquivo foi organizado de modo que os principais cursos d'água foram nomeados conforme consta nos dados oficiais e representados na Figura 20.

O mapa da hidrografia em conjunto com o banco de dados auxiliou nas análises quanto ao nível d'água. E ainda, possibilitou um melhor ajuste no mapeamento geotécnico preliminar, uma vez utilizado juntamente com a declividade e hipsometria permitiu a confirmação quanto a origem e composição dos solos.

Figura 20 - Mapa da hidrografia.



#### 4.3.2 Mapeamento Geotécnico

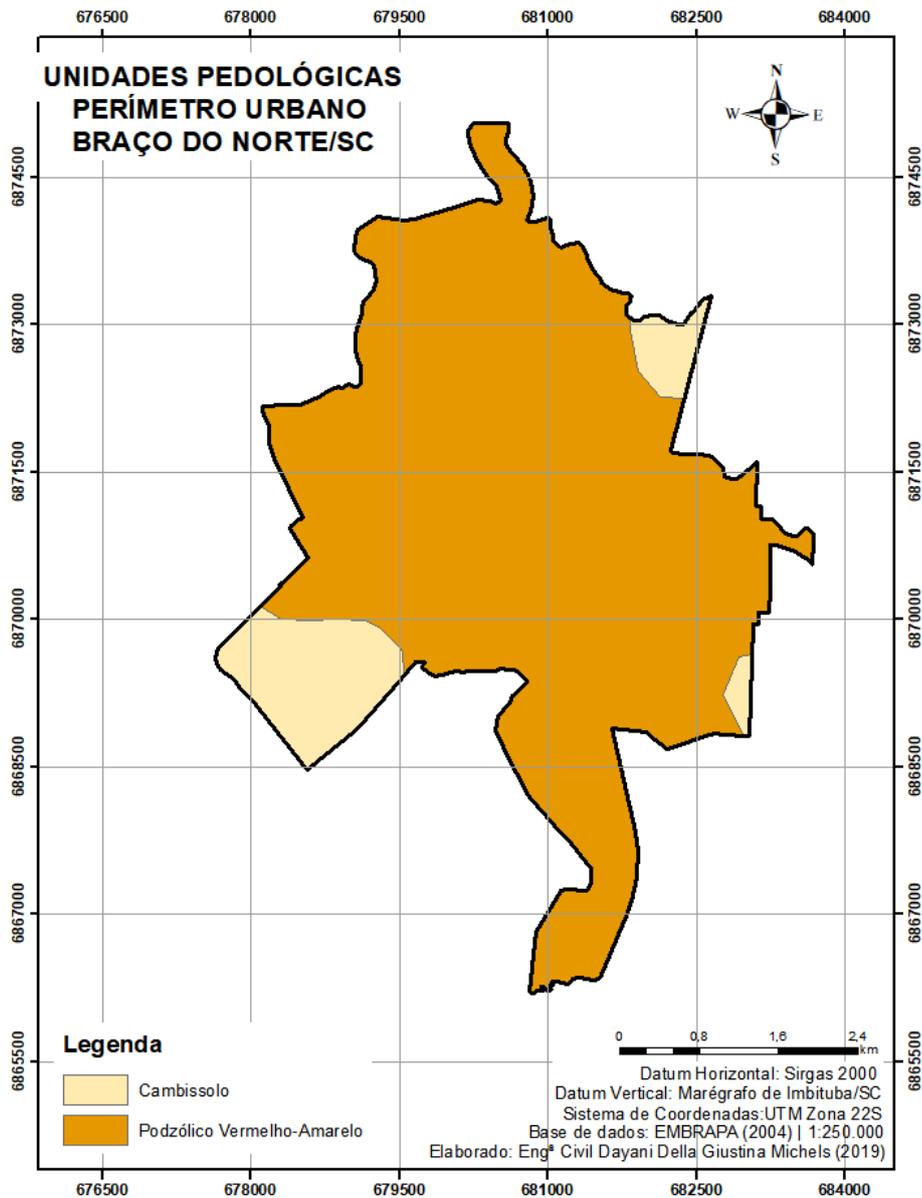
Existem diversos métodos para a compreensão do comportamento geomecânico dos solos através do mapeamento geotécnico. Neste trabalho foi utilizada a metodologia desenvolvida por Davison Dias (1995) para solos tropicais, onde preconiza a sobreposição da pedologia e geologia (litologia dominante) para a estimativa das unidades geotécnicas.

As unidades geotécnicas criadas são compostas por polígonos, onde a pedologia representa os horizontes superficiais, a litologia as características de horizontes de alteração da rocha (horizonte saprolítico) e as curvas de nível auxiliam na delimitação das unidades.

Em ambiente SIG foram extraídos os seguintes mapas: pedológico (Figura 21) e geológico (Figura 22), apresentados a seguir.

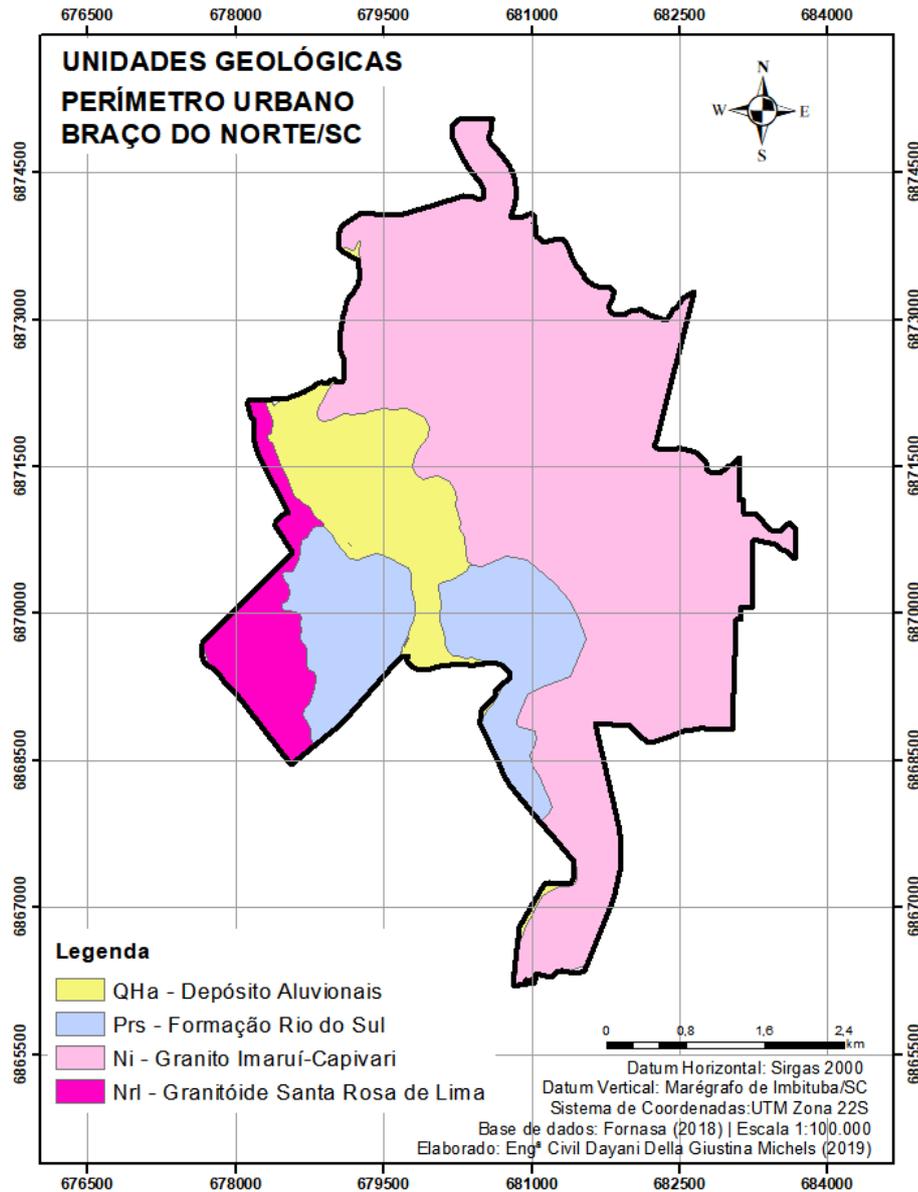
A pedologia da área urbana é composta por duas unidades pedológicas: Cambissolo e Podzólico Vermelho-Amarelo. Os solos do tipo Cambissolo, segundo a Embrapa (2006), são constituídos de material mineral que devido a heterogeneidade da rocha de origem, ao relevo e ao clima podem apresentar características variadas de uma região para outra; geralmente são pouco desenvolvidos, com horizonte B incipiente, podendo ser argiloso ou arenoso. Já os solos do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo, atualizados segundo a Embrapa (2006) como Argissolos, apresentam horizonte B logo após do horizonte A, com textura média a muito argiloso e de cores avermelhadas ou amareladas.

Figura 21 – Mapa Pedológico.



O cenário geológico da área de estudo é composto por três domínios: Pré-Cambriano, Bacia do Paraná e Cobertura Sedimentar Quaternária, com as seguintes formações geológicas: Granito Imaruí-Capivari, Granito Santa Rosa de Lima, Formação Rio do Sul e Depósitos Aluvionares. A Figura 22 apresenta o cenário geológico para a área de estudo, conforme coloração adotada na carta base, Carta Geológica Folha Criciúma – SH-22-X-B.

Figura 22 – Mapa Geológico.



O Granitóide Santa Rosa de Lima localizados no município de Braço do Norte, segundo Fornasa (2018), pertencem ao Complexo Granito-Gnáissico e refere-se as rochas granito-gnáissicas e migmatíticas polifásicas envolvidas em processo de deformação de alta temperatura e submetidas a cisalhamento dúctil-fágil, bem como a injeções de magmas graníticas tardios. Ainda, conforme a autora, o granitóide localizado na área de estudo é composto por sieno a monzogranitos, mesocráticos, de coloração cinza a rósea, com variações de cinza claro a cinza escuro. Apresentam textura típica porfirítica com megacristais de K-feldspato espaços e raros, com dimensões entre 1 e 4,5cm.

O Granito Imaruí Capivari, segundo Fornasa (2018), é composto por sieno a monzogranitos, apresenta coloração cinza rósea a cinza claro, de estrutura maciça. A textura

típica é portífirítica com megacristais de K-feldspato abundante, localmente arredondados com diâmetros entre 2 e 6 cm, de cor esbranquiçada e geralmente róseas quando intemperizados.

A unidade classificada como Formação Rio do Sul ocorre, conforme Fornasa (2018), apresentam-se de forma pontual na área de pelitos com laminação horizontal, estruturados em camadas com 1,2m de altura e 3m de extensão, com coloração intercaladas de amarelada a rósea e cinza escura.

As coberturas cenozoicas compreendem, segundo Fornasa (2018), os leques aluviais e os depósitos aluvionares. Os leques aluviais apresentam cascalhos, areias e lamias resultantes da ação de fluxos gravitacionais e aluviais, com formação de rampas de colúvio, sedimentos finos e depósitos de talus, sedimentos grossos, junto a base e meia encosta dos morros. Apresentam espessura, comprimento e granulometria variadas, geralmente compostas desde argila até bloco de rocha e matacões. Já os depósitos aluvionares são compostos por sedimentos arenosos e lamosos e ocorrem em regiões de baixa declividade e ao longo das drenagens.

De posse das unidades geológicas extraiu-se a litologia dominante, nomeando-as conforme a proposta de Davison Dias (2001), representas no Quadro 16.

Quadro 16 - Associação entre a Geologia e a Litologia predominante.

<b>Geologia</b>	<b>Litologia</b>	<b>Simbologia</b>
Nrl - Granito Santa Rosa de Lima	Granitóides	gd
Ni - Granito Imaruí-Capivari	Granito	g
Prs - Formação Rio do Sul	Arenito	a
QHa - Depósitos Aluvionares	Sedimentos quaternários	sq

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

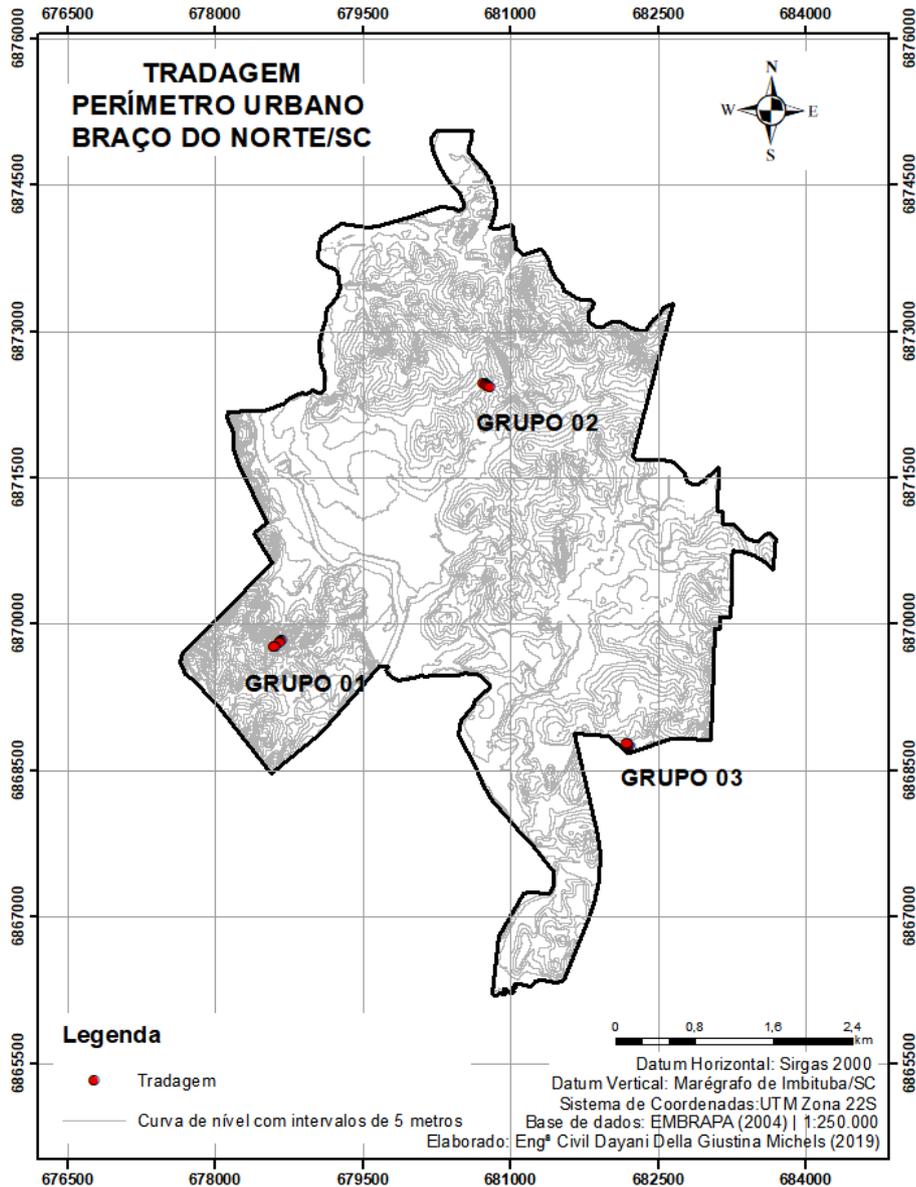
Com a sobreposição da pedologia e litologia, obteve-se o mapa geotécnico preliminar, o qual foi reajustado para a geração do mapa geotécnico final. O mapa geotécnico final trata-se de um mapeamento onde as unidades são ajustadas com auxílio de tradagens manuais simples, sondagens SPT e curvas d'nível, e por consequência resulta no melhoramento da escala e precisão das unidades geotécnicas identificadas.

Conforme classificação litológica e pedológica, os solos podem ser diferenciados quanto a natureza residual ou sedimentar através da observação do mapa altimétrico e topossequência de formação dos solos, conforme exposto nos trabalhos de Santos (1997) e Higashi (2006).

Por meio das tradagens, realizadas no sentido transversal às curvas de nível com o objetivo de otimizar a estimativa de transição, foi possível determinar a cota de transição entre

os solos sedimentares e residuais. Ao total foram realizadas 16 (dezesesseis) sondagens na área de estudo, com as localizações representadas na Figura 23, com coleta de amostra de material nos 30cm iniciais e finais, totalizando uma profundidade média de 1,20m.

Figura 23 - Localização das tradagens.



O grupo 01, Figura 24, consiste em 5 tradagens simples realizadas no bairro Lado da União com altitude variando entre 128m e 82m. Após a coleta do material e a análise do relevo da região, observou-se que as áreas localizadas na margem a esquerda do Rio Braço do Norte possuem a cota 85m como zona de transição entre os solos residuais e sedimentares.

Figura 24 – Amostra de solos dos 30cm finais – tradagens simples.



Furo 01 – Cota 128



Furo 02 – Cota 119



Furo 03 – Cota 94



Furo 04 – Cota 87



Furo 05 – Cota 82



Zona de contato – cota 85

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No grupo 02, Figura 25, foram realizadas 6 tradagens simples no bairro Santa Augusta com altitude entre 74m e 90m. Após as coletas definiu-se que os solos localizados na margem direita do rio Braço do Norte e a esquerda do Rio Bonito, nas cotas inferiores a 78m, são de origem sedimentar e os localizados nas cotas superiores a 78m são de origem residual.

Figura 25 – Amostra de solos dos 30cm finais – tradagens simples.



Furo 01 – Cota 74



Furo 02 – Cota 79



Furo 03 – Cota 81



Furo 04 – Cota 84



Furo 05 – Cota 87



Furo 06 – Cota 90



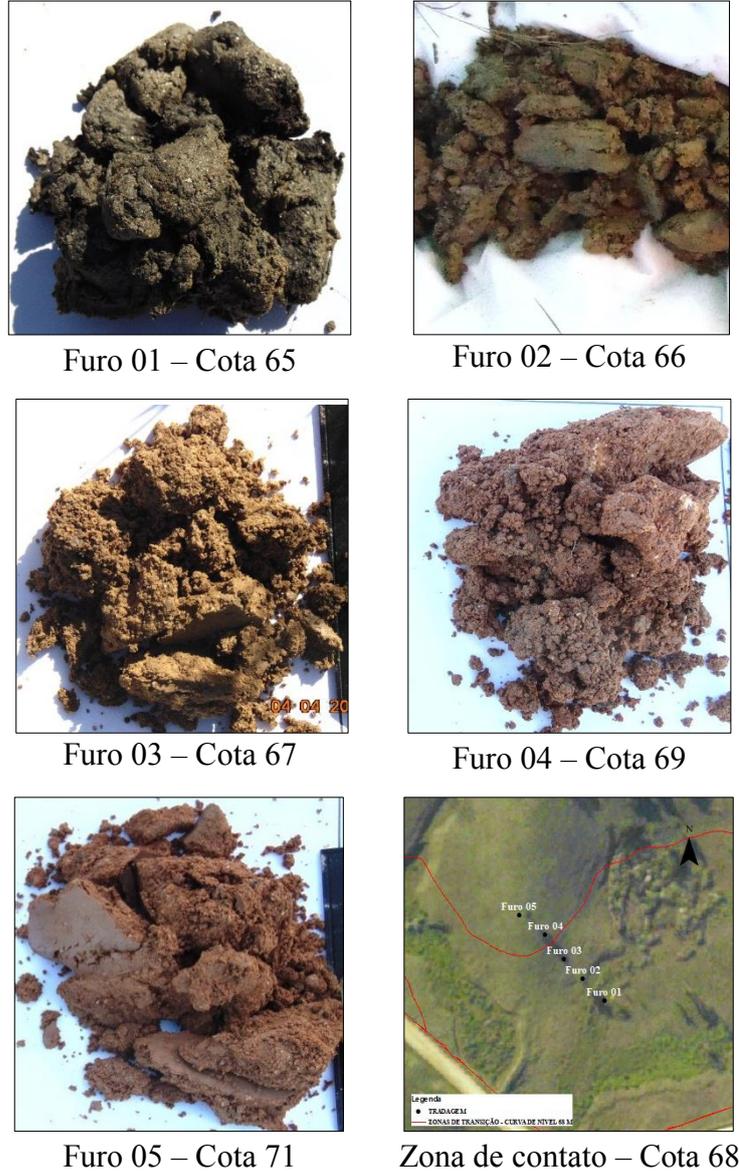
Zona de Contato – cota 78

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No bairro Sertão do Rio Bonito, localizado na margem direita do rio Braço do Norte e do rio Bonito, foram realizadas 5 tradagens com altitude variando entre 65m e 71m, conforme Figura 26. Nas referidas coletas pode ser observado que os solos localizados na respectiva área

possuem como zona de transição a cota 68m. Portanto, definiu-se que os solos localizados em cotas inferiores a 68m são de origem sedimentar e os localizados nas cotas superiores de origem residual.

Figura 26 – Amostra de solos dos 30cm finais – tradagens simples.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A diferenciação entre os solos residuais e sedimentares ocorreu por meio da análise tátil-visual, observando-se as características como textura, cor, consistência, resistência ao trado, presença de lençol freático, odor entre outros.

Após a definição das zonas de transição foi gerado o mapa de origem do solo e elaborado os perfis estratigráficos com a finalidade de confirmar e/ou corrigir as zonas de transição dos solos residuais e sedimentares.

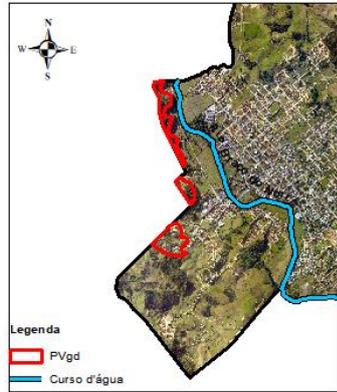
Para elaboração dos perfis, selecionaram-se furos localizados próximos às zonas de transição definidas pelas tradagens e alinhados de forma que apresentassem alteração de relevo. A partir de então, foram observadas as informações relacionadas a: variação de nível de água, profundidade do impenetrável,  $N_{SPT}$ , composição do solo, coloração, granulometria, elevação e declividade.

Após a análise dos perfis estratigráficos, o mapa geotécnico foi elaborado e os polígonos reajustados. As delimitações preliminares dos polígonos em questão não consideram os fatores declividade e elevação, sendo assim, considerou-se a variação do relevo e imagem aerofotogramétrica para o ajuste do polígono conforme esquema das Figuras 27 e 28. Tal metodologia foi aplicada para outras unidades em que tais correções se fizeram necessárias.

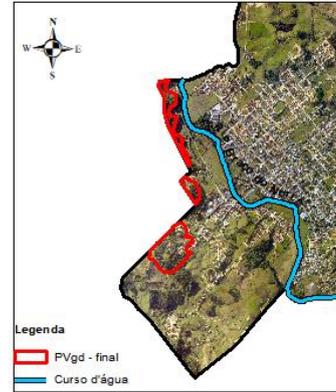
As unidades de solo Podzólico Vermelho-Amarelo substrato granitóide Santa Rosa de Lima (PVgd) estão localizadas em áreas de declividade e altitudes elevadas. O polígono localizado mais ao sul da Figura 27 apresentava-se localizado sem a observância da elevação e declividade, sendo assim, corrigiu-se a respectiva unidade.

A unidade de solo Aluvial de sedimentos quaternários (Asq) não eram representados no mapa geotécnico preliminar, portanto, a unidade foi inserida nas planícies de inundações ao longo dos cursos d'água principais (rio Braço do Norte e rio Bonito), conforme esquematizado na Figura 28. Tais planícies são afetadas pelas cheias anuais e periódicas, destarte, são áreas propícias à formação de depósitos de turfa, material orgânico natural, de coloração preta, derivado de restos de vegetais que crescem em áreas constantemente inundadas, do mesmo modo, são áreas compostas por sedimentos finos (siltes e argilas) e matéria orgânica em abundância.

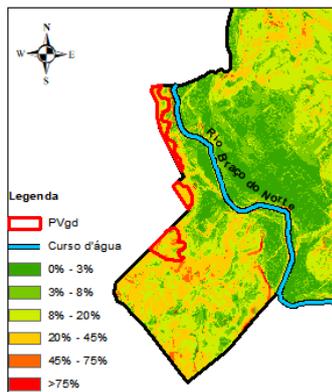
Figura 27 - Modelo esquemático para delimitação da unidade Podzólico Vermelho-Amarelo com substrato granitoide (PVgd).



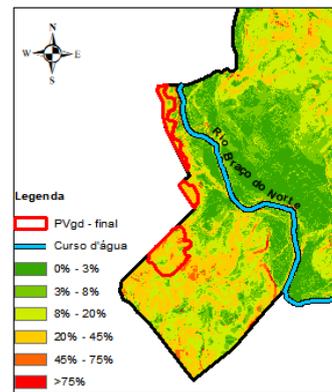
Polígono preliminar e imagem de satélite



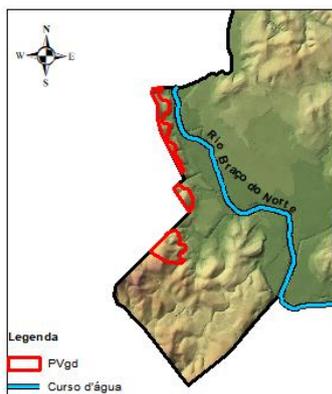
Polígono final e imagem de satélite



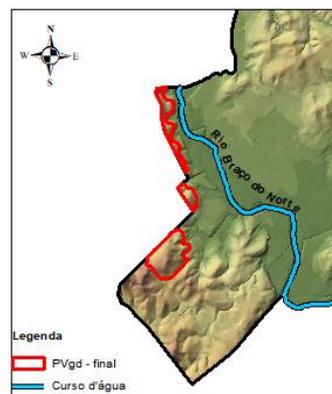
Polígono preliminar e declividade



Polígono final e declividade



Polígono preliminar e elevação



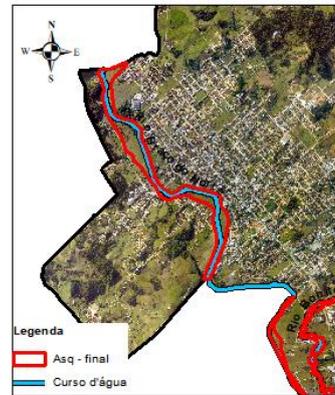
Polígono final e elevação

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

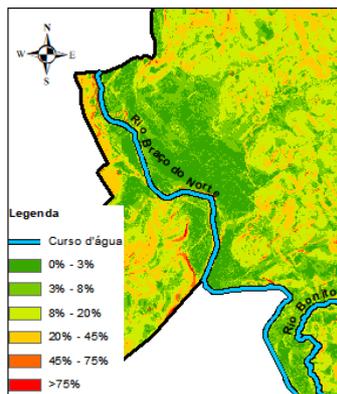
Figura 28 - Modelo esquemático para delimitação da unidade solos aluvionares de sedimentos quaternários (Asq).



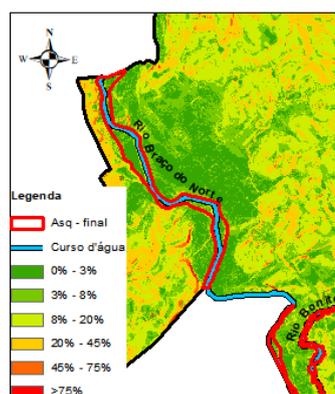
Imagem de satélite sem a presença da unidade Asq



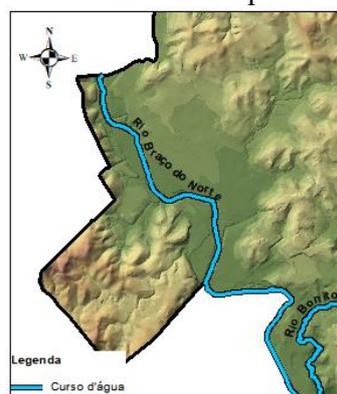
Unidade Asq e imagem de satélite



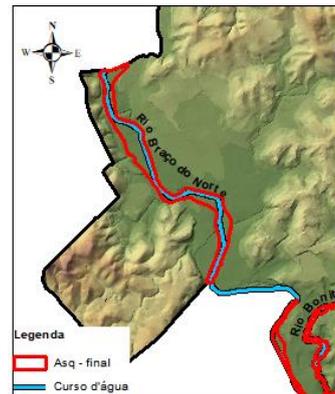
Declividade sem a presença da unidade Asq



Unidade Asq e declividade



Elevação sem a presença da unidade Asq



Unidade Asq e elevação

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

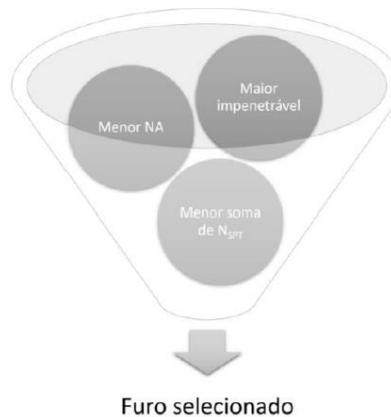
A partir de tal metodologia foi ajustado ainda a unidade de Cambissolo de substrato granito e, posteriormente, elaborado o mapeamento geotécnico final para o perímetro urbano de Braço do Norte/SC.

### 4.3.3 Aplicação da geoestatística

Após a elaboração do mapa geotécnico final, conclui-se o banco de dados de sondagens SPT com a incorporação do atributo “Unid. Geotécnica” em ambiente SIG.

Com a incorporação da unidade geotécnica, realizou-se o refinamento do banco de dados, conforme metodologia por Thiesen (2016), onde conserva-se o furo do terreno com as características mais críticas no que diz respeito a projetos de fundações, como esquematizado na Figura 29. A autora justifica este tipo de seleção devido a concentração de pontos em determinado terreno e a ausência em outros, podendo, assim, ocasionar sobreposições de resultados e não favorecendo a modelagem numérica de superfícies.

Figura 29 - Critérios de seleção do furo mais crítico do grupo.



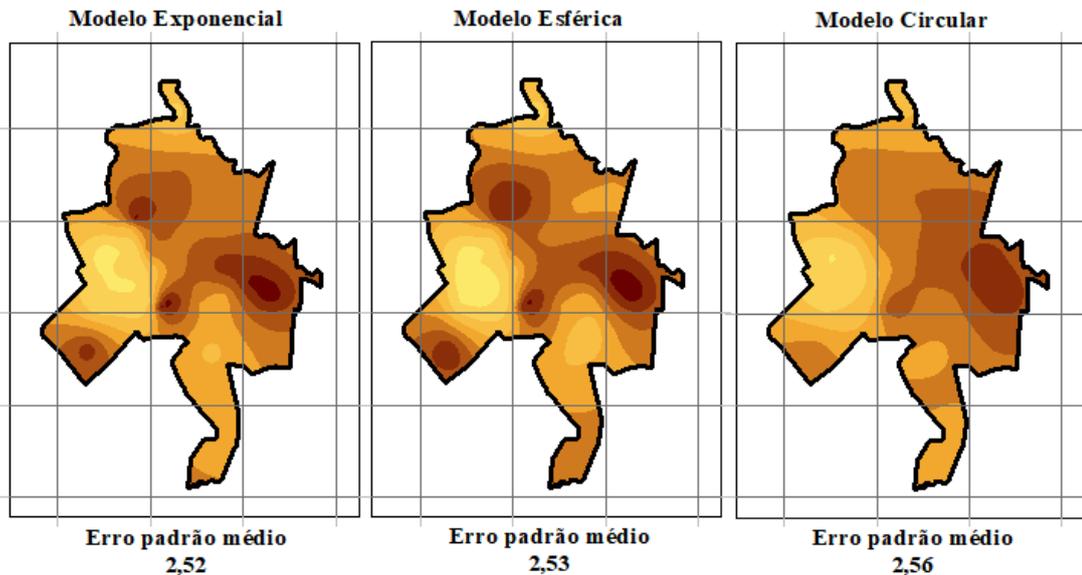
Fonte: Thiesen (2016).

No banco de dados foi aplicado o método krigagem ordinária para elaboração das cartas de tipos de solo e cartas de aptidão para fundações. Tal método geoestatístico é considerado consolidado em análises de propriedades de solo e mostrou-se satisfatórios nos trabalhos de Soares (2011), Santos (2016) e Thiesen (2016), os quais analisam propriedades de solos semelhantes às propostas nesta pesquisa.

Dos 206 furos de sondagens foram aplicados a krigagem em 58 pontos. Ressalta-se que, devido às características dos dados a serem analisados na geração das cartas de tipos de

solo e aptidão, foram verificados quais dos modelos de semivariograma apresenta um menor erro médio. Portanto, interpolou-se, conforme Figura 30, os três modelos de semivariograma mais utilizados na literatura para dados do meio físico.

Figura 30 – Modelos de semivariograma.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Observa-se que os modelos exponencial e esférica apresentam uma diferença relativamente pequena quanto ao erro padrão médio de 2,52 e 2,53, respectivamente. Já o modelo circular apresenta um maior erro, 2,56, e uma maior diferença quando comparado a outros modelos teóricos. Devido ao modelo exponencial apresentar um menor erro padrão médio, adotou-se o respectivo modelo de semivariograma para dados do impenetrável. Para as demais cartas foi utilizada a mesma metodologia, ou seja, foram gerados os três modelos supracitados e manteve-se o modelo com menor erro padrão médio.

#### 4.3.3.1 Cartas de tipos de solo

Com a finalização do banco de dados de sondagem e de posse do atributo “tipo de solo”, o qual retrata a granulometria predominante em cada metro de profundidade, foi possível elaborar cartas de tipo de solo existentes para a área de estudo.

A elaboração das cartas de tipos de solo permitirá um conhecimento detalhado da granulometria dos solos existentes nas mais diversas profundidades da área de estudo, auxiliando no cálculo de movimento de solo, na escolha dos tipos e características de fundações e análises conjunta com outros estudos a serem realizados.

Para cada granulometria foram atribuídos valores numéricos, conforme apresentado na seção 4.2.2, a fim de possibilitar as interpolações. Após a definição do modelo teórico de semivariograma mais adequado, foi aplicada a krigagem ordinária para a elaboração das cartas de tipos de solos para cada profundidade seguindo até a profundidade que não apresentou discrepância entre os tipos de solo.

#### 4.3.3.2 *Cartas de aptidão para fundações*

Por meio do banco de dados de sondagens SPT e a krigagem, foram desenvolvidas cartas que representam o comportamento do subsolo do perímetro urbano de Braço do Norte/SC, as quais auxiliarão o planejamento de futuras obras.

Foram elaboradas as seguintes cartas: profundidade estimada do lençol freático, profundidade estimada do impenetrável a percussão, orientação para o tipo de fundação, tensão admissíveis para fundação superficial, comprimento máximo estimado das estacas e isolinhas de  $N_{SPT}$ , conforme métodos descritos a seguir.

##### 4.3.3.2.1 Cartas de profundidade estimada do lençol freático

A posição do lençol freático em relação à superfície é uma informação indispensável durante o projeto e execução de obras civis. Sendo assim, foram geradas duas cartas de profundidade estimadas do lençol freático, com e sem a inclusão de pontos ao longo dos rios Braço do Norte e rio Bonito.

A inclusão de novos pontos, ao longo do rio Braço do Norte e rio Bonito, tem como propósito melhorar a acurácia da carta de profundidade do lençol freático. Para esses pontos foram adotados como profundidade do nível d'água aquelas encontradas nas sondagens próximas às hidrografias supracitadas.

##### 4.3.3.2.2 Cartas de profundidade estimada do impenetrável à percussão

Para a elaboração da carta de profundidade estimada do impenetrável à percussão, considerou-se as profundidades do impenetrável presentes nos boletins de sondagens e dispostas no banco de dados.

Uma vez que o banco de dados disponha dos furos georreferenciados, foi possível realizar a interpolação dos valores e as cotas das profundidades do impenetrável, obtendo-se, assim, as cartas de profundidade do impenetrável à percussão.

#### 4.3.3.2.3 Cartas de orientação para o tipo de fundação

A elaboração das cartas de orientações à fundação, superficial ou profunda, foi confeccionada com base nos conceitos definidos por Rebello (2011) e NBR 6484/2001, abordados no item 2.3.1.1 e realizado nos trabalhos de Santos (2016) e Thiesen (2016). Foram adotados, para cada furo analisado, os seguintes critérios:

- a) Para fundações superficiais: limite máximo de dois metros de profundidade para assentamento de fundação superficial, conforme estabelecido por Rebello (2011), e  $N_{SPT} \geq 5$  na profundidade analisada e abaixo desta, de modo a evitar o assentamento de fundação superficial sobre o solo muito mole ou mole, estabelecido pela NBR 6484/2001;
- b) Para fundações profundas: camadas divergentes dos critérios adotados para fundações superficiais.

Com os critérios definidos foram modelados os valores de  $N_{SPT}$  para os primeiros dois metros de profundidade, dividindo o resultado para  $N_{SPT} \geq 5$  e  $N_{SPT} < 5$ , orientação para fundação rasa (exceto os radiers) ou fundação profunda, respectivamente.

Ressalta-se que as cartas de orientação para o tipo de fundação, elaboradas nesse presente estudo, serão apropriadas a pilares com cargas até 500 kN (50tf), considerando a economicidade descrita por Santos (2016), e sapatas com área da base de até 5m<sup>2</sup>, demonstrado nos cálculos a seguir.

Aplicando-se  $N_{SPT}=5$ , o menor  $N_{SPT}$  a ser considerado para fundação superficial, na equação (1) observa-se a seguinte tensão admissível do solo:

$$\begin{aligned}\sigma_{adm} &= 0,02 \cdot N_{SPT} \\ \Sigma_{adm} &= 0,02 \cdot 5 \\ \sigma_{adm} &= 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kN/m}^2\end{aligned}\tag{1}$$

Com base na tensão admissível obtida, a carga aplicada de 500kN e a equação (6), a seguir, obtém-se:

$$\sigma_{\text{adm}} = \frac{P}{A_s} \quad (6)$$

$$A_s = \frac{500}{100}$$

$$A_s = 5 \text{ m}^2$$

#### 4.3.3.2.4 Cartas de tensão admissível para fundação superficial

Foram elaboradas as cartas de tensão admissível a fim de orientar o dimensionamento para fundações superficiais. A tensão admissível será simulada para cada metro de profundidade até o limite de quatro metros, a fim de considerar, além da profundidade máxima de assentamento das sapatas (dois metros), a propagação das tensões pelo bulbo de tensão.

Apesar da profundidade do bulbo de tensão estar diretamente relacionado com a geometria da sapata, no presente trabalho optou-se por definir uma geometria específica. Sendo assim, utilizou-se o valor de  $N_{\text{SPT}}$  obtido na camada de assentamento da sapata e não a média de  $N_{\text{SPT}}$  no bulbo de tensão.

Para o cálculo das tensões admissíveis, foi adotado como limite inferior 0,1 MPa (100 kN/m<sup>2</sup>) e 0,4 MPa (400 kN/m<sup>2</sup>) como limite superior, uma vez que a equação (4) definida por Hachich et al. (1998), exposta no item 2.3.1.1, apresenta uma validade para qualquer solo natural com  $N_{\text{SPT}}$  entre 5 e 20.

#### 4.3.3.2.5 Cartas de comprimento máximo estimado das estacas

Ao gerar-se as cartas de comprimento máximo das estacas, considerou-se as estacas mais executadas na região de estudo e as correlações entre o tipo de estaca e os valores limites de  $N_{\text{SPT}}$  para paralização das estacas, apresentadas por Cintra e Aoki (2010), representado a seguir:

- a) Pré-moldada de concreto com  $\varnothing < 30\text{cm}$ : parada entre o intervalo de  $15 < N_{\text{SPT}} < 25$ ;
- b) Pré-moldada de concreto com  $\varnothing \geq 30\text{cm}$ : parada entre o intervalo de  $25 < N_{\text{SPT}} \leq 35$ ;
- c) Strauss: parada entre o intervalo de  $10 < N_{\text{SPT}} \leq 25$ ;
- d) Hélice contínua: parada entre o intervalo de  $20 < N_{\text{SPT}} \leq 45$ .

Para as interpolações considerou-se a média de número de golpes de paralização para a delimitação das profundidades.

#### 4.3.3.2.6 Cartas de isolinhas de $N_{SPT}$

Para as cartas de isolinhas de  $N_{SPT}$ , modelou-se os valores de  $N_{SPT}$  para cada metro de profundidade, com o objetivo de orientar o dimensionamento quanto ao tipo de orientação profunda a ser utilizada para cada área. Através da simulação dos valores de  $N_{SPT}$ , foram obtidas curvas de resistência do solo as quais foram agrupadas e representadas por cores distintas.

### 4.4 VALIDAÇÃO DOS DADOS E RESOLUÇÃO ESPACIAL

Buscou-se validar as cartas elaboradas na presente pesquisa através do conhecimento da resolução espacial descrita na Equação (7). De posse do presente parâmetro, foi possível comparar o valor com estudos já realizadas e conferir a representatividade espacial publicada por Zuquette (1993).

Thiesen (2016) destaca que a distribuição dos levantamentos é fator importante a ser levado em consideração, posto que, os dados agrupados em pequenas áreas e/ou muito espaçados entre si acabam por piorar a resolução espacial, apesar de poderem apresentar um mesmo valor de “R”. Por esta razão, utilizou-se da mesma metodologia empregada pela autora, destacada na seção 4.3.3, onde mantiveram-se os furos representativos de cada laudo de sondagem, e não todos os furos de sondagens coletados e tratados. Tal metodologia é justificada pela distribuição heterogênea dos furos.

O Quadro 17 apresenta como referência o número mínimo de observações por  $\text{km}^2$  relacionada à distância máxima entre os pontos observados.

Quadro 17 - Número mínimo de observações e distância entre os pontos.

Finalidade do mapeamento geotécnico	Escala	Atributo					
		Qualitativos				Quantitativos	
		Metamórficas e Ígneas		Sedimentares		Geral	
		Observações/ km <sup>2</sup>	Distância entre os pontos observados (m)	Observações/ km <sup>2</sup>	Distância entre os pontos observados (m)	Observações/ km <sup>2</sup>	Distância entre Os pontos observados (m)
Básico	1:250.000	1/10	3162	1/10	3162	1/10	3162
Regional	1:100.000	4/10	1581	3/10	1826	2/10	2236
	1:50.000	6/5	913	1/1	1000	3/10	1826
	1:25.000	3/1	577	2/1	707	1/1	1000
Detalhe	1:25.000	5/1	447	4/1	500	4/1	500
	1:10.000	15/1	258	15/1	258	10/1	316
	1:5.000	25/1	200	20/1	224	15/1	258
	1:2.000	40/1	158	35/1	169	25/1	200

Fonte: Zuquette (1993 apud THIESEN, 2016).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

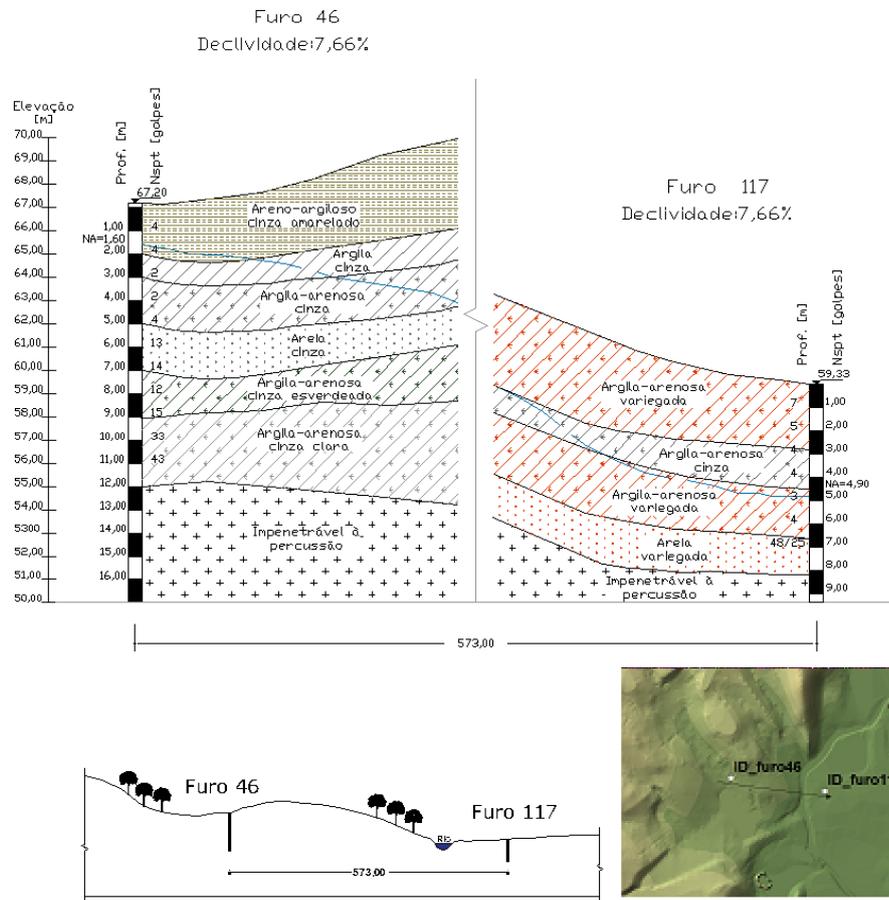
O presente capítulo aborda os resultados alcançados com o trabalho desenvolvido para o mapeamento geotécnico, cartas de tipos de solo, profundidade estimada do lençol freático impenetrável à percussão, orientação para o tipo de fundação, tensão admissível para fundação superficial, comprimento máximo estimado das estacas e isolinhas de  $N_{SPT}$ .

### 5.1 BANCO DE DADOS E MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

A partir da geração dos perfis estratigráficos, foram confirmados as origens dos solos visando aprimorar o mapeamento geotécnico com maior acurácia na delimitação dos polígonos.

Os perfis gerados a partir dos furos 46 e 117, representados na Figura 31, confirmam a origem do solo definida pelas tradagens, uma vez que apresenta as seguintes características: cores com tendências ao cinza;  $N_{SPT}$  com valores baixos, apesar de serem crescentes ao longo das camadas; e nível d'água próximo à superfície.

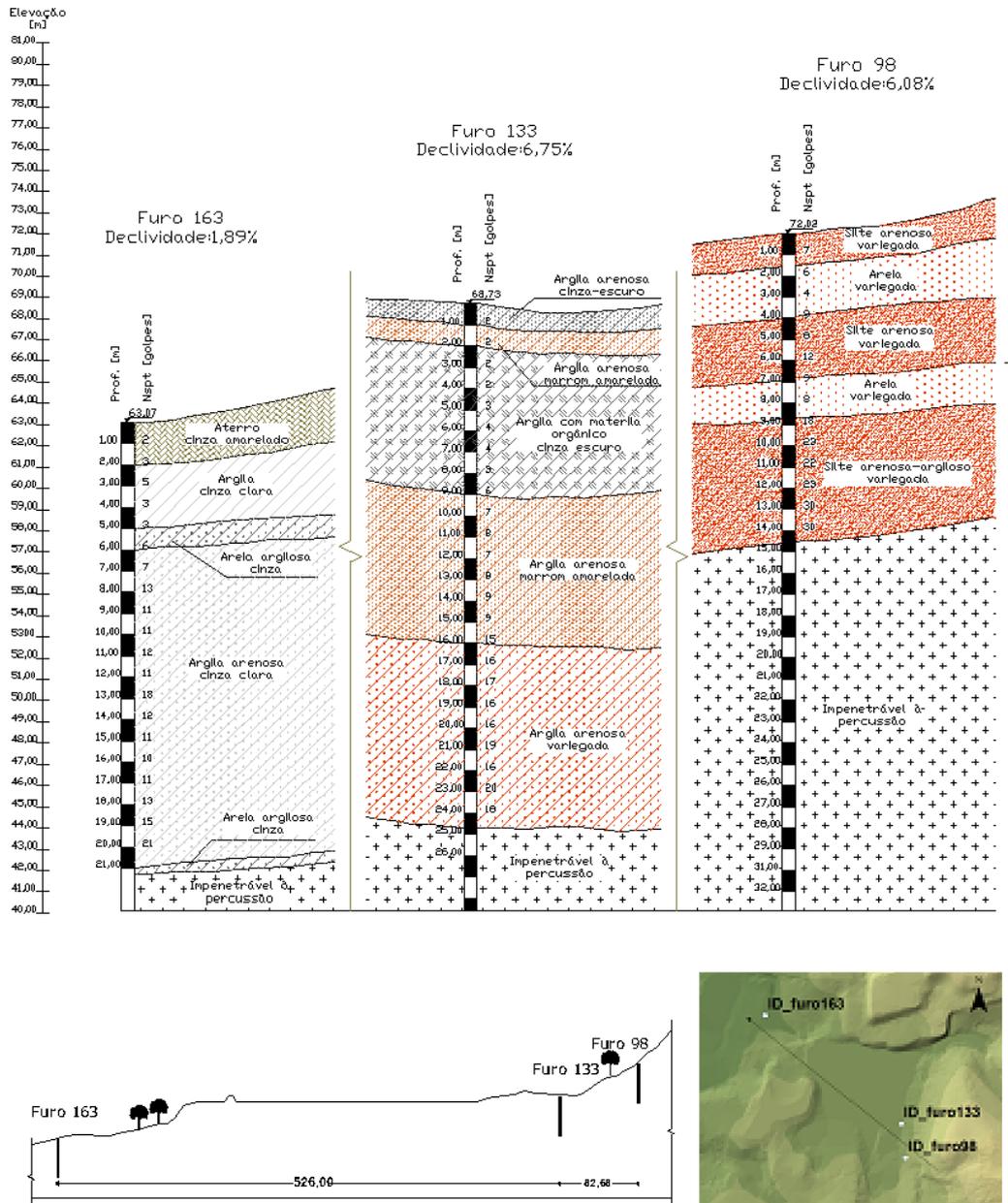
Figura 31 – Perfil estratigráfico - furos 46 e 117.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O perfil estratigráfico dos furos 163 e 133 apresentam características de solos sedimentares com elevações de 63,07m e 68,73m, respectivamente. O furo 98 encontra-se na cota 72m com características de solos residuais, cores quentes e  $N_{SPT}$  crescente com valores elevados ao longo das camadas. A partir dos dados obtidos, Figura 32, e considerando que a cota de transição na área era de 68m, redefiniu-se para 69m a cota de transição dos solos sedimentares para os solos residuais.

Figura 32 – Perfil estratigráfico - furos 163, 133 e 98.



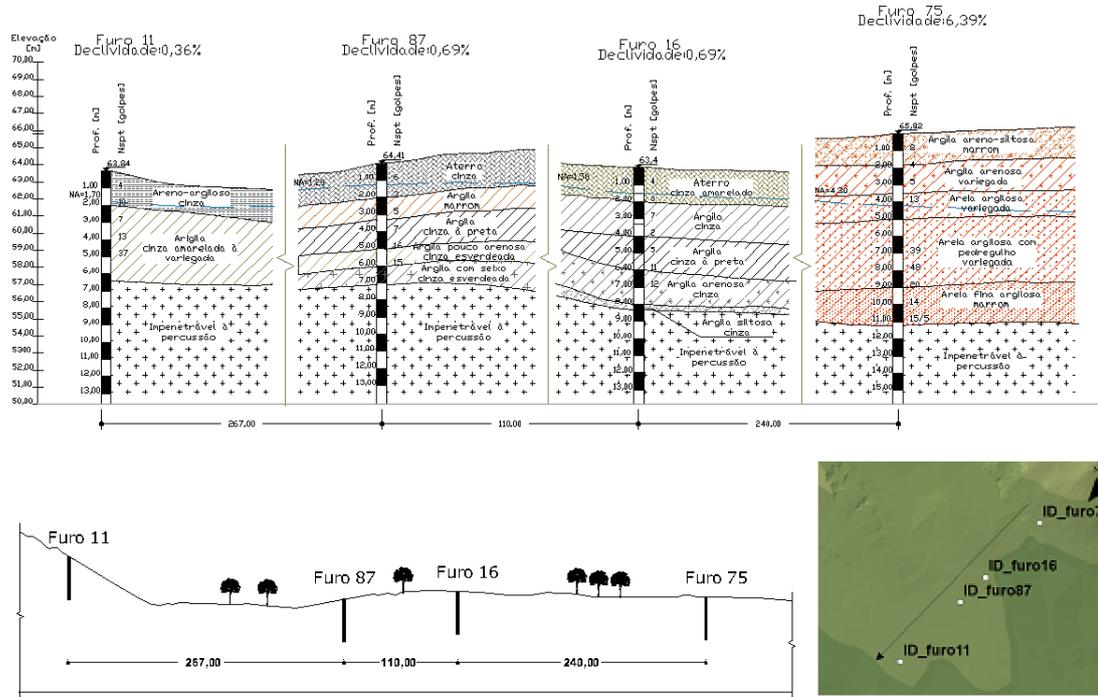
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 33, perfil estratigráfico dos furos 11, 87, 16 e 75, apresenta os solos de origem sedimentar com cotas de elevação variando entre 63,4m e 65,8m. Devido aos solos serem sedimentares, não houve a modificação imposta pelas tradagens simples, uma vez que todos as sondagens na área apresentam cotas inferiores a 68m.

O impenetrável à percussão do perfil em análise apresenta uma tendência de menor profundidade onde as altitudes são maiores. Quanto à resistência do solo, o  $N_{SPT}$  apresenta um baixo valor e uma pequena variação nas camadas superficiais, adquirindo valores maiores

próximos ao impenetrável. Tais características são atribuídas aos solos sedimentares onde há predomínio de cores cinzas e  $N_{SPT}$  com valores baixos.

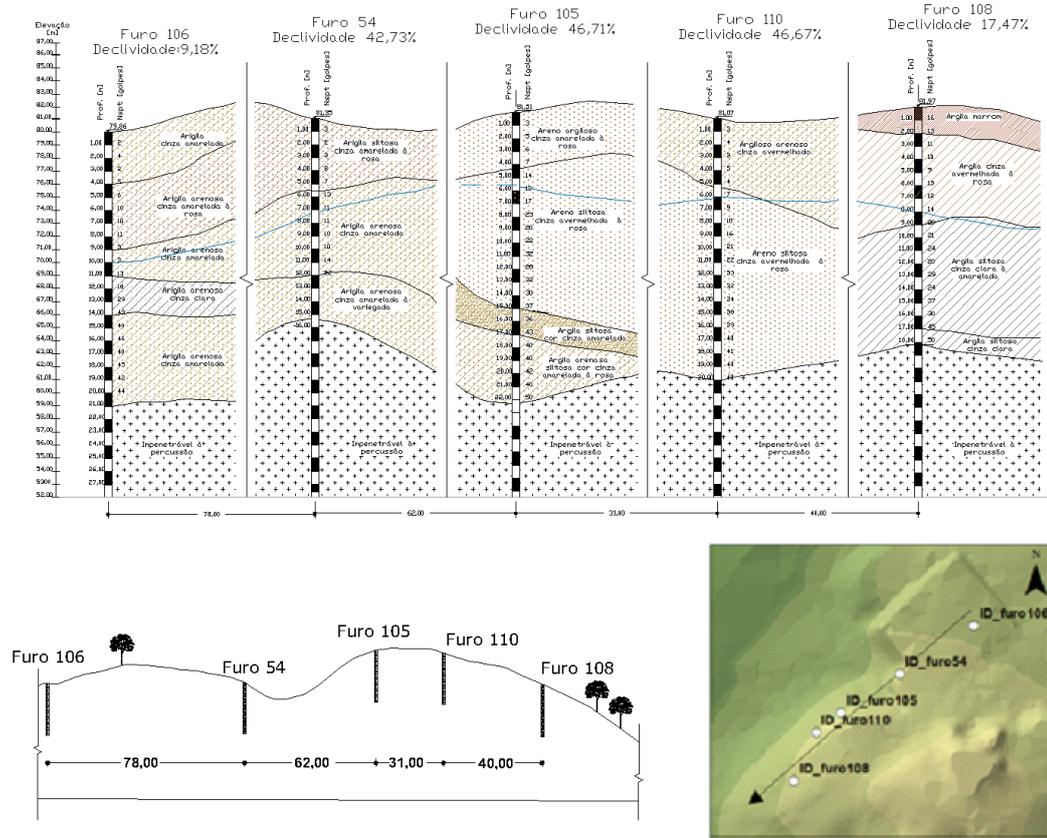
Figura 33 – Perfil estratigráfico - furos 11, 87, 16 e 75.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O perfil estratigráfico representado na Figura 34 apresenta cotas de elevação entre 79,8m e 81,9m. Inicialmente, observou-se que os furos se encontravam em área de solos residuais definidos pelas tradagens, no entanto, após a análise do perfil estratigráfico, ajustou-se o mapa de origem do solo, sendo atribuído a estes a denominação de solos de origem sedimentar. Tal alteração justifica-se, dado que, todos os furos de sondagem SPT representados na Figura 34 retratam as características de solos sedimentares, com cores em tons de cinza, presença do lençol freático e  $N_{SPT}$  crescente, entretanto com valores pouco elevados.

Figura 34 – Perfil estratigráfico - furos 106, 54, 105, 110 e 108.



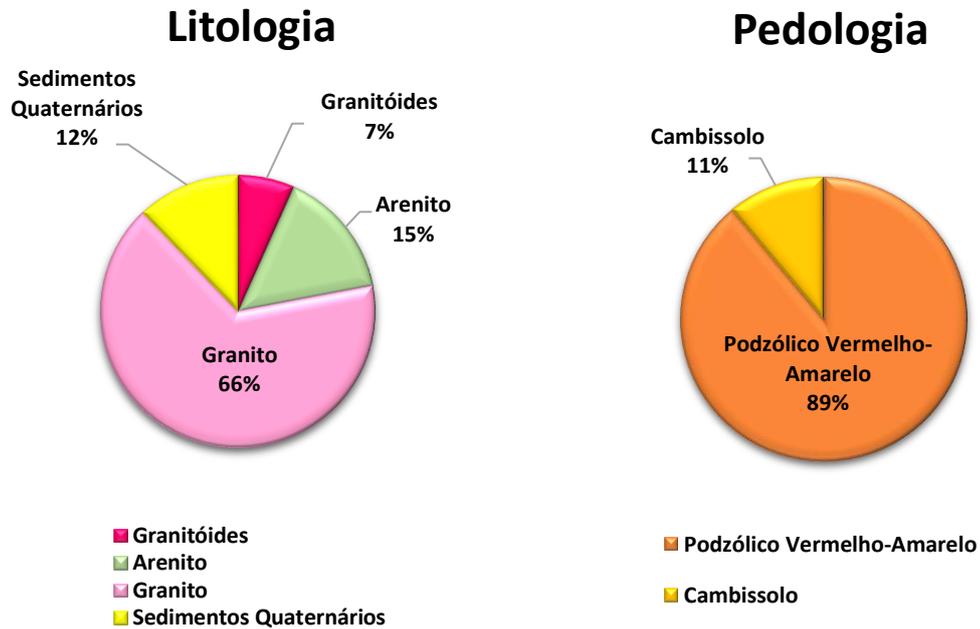
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

### 5.1.1 Mapeamento Geotécnico

Após a análise de todos os perfis estratigráficos, os mapas temáticos (hipsometria, declividade, hidrografia, pedologia, geologia e litologia) e as composições das unidades geológicas e litológicas, finalizou-se os ajustes necessários e gerou-se o mapa geotécnico final.

As composições percentuais litológica e pedológica de Braço do Norte/SC estão apresentadas na Figura 35.

Figura 35 – Unidades litológicas e pedológicas



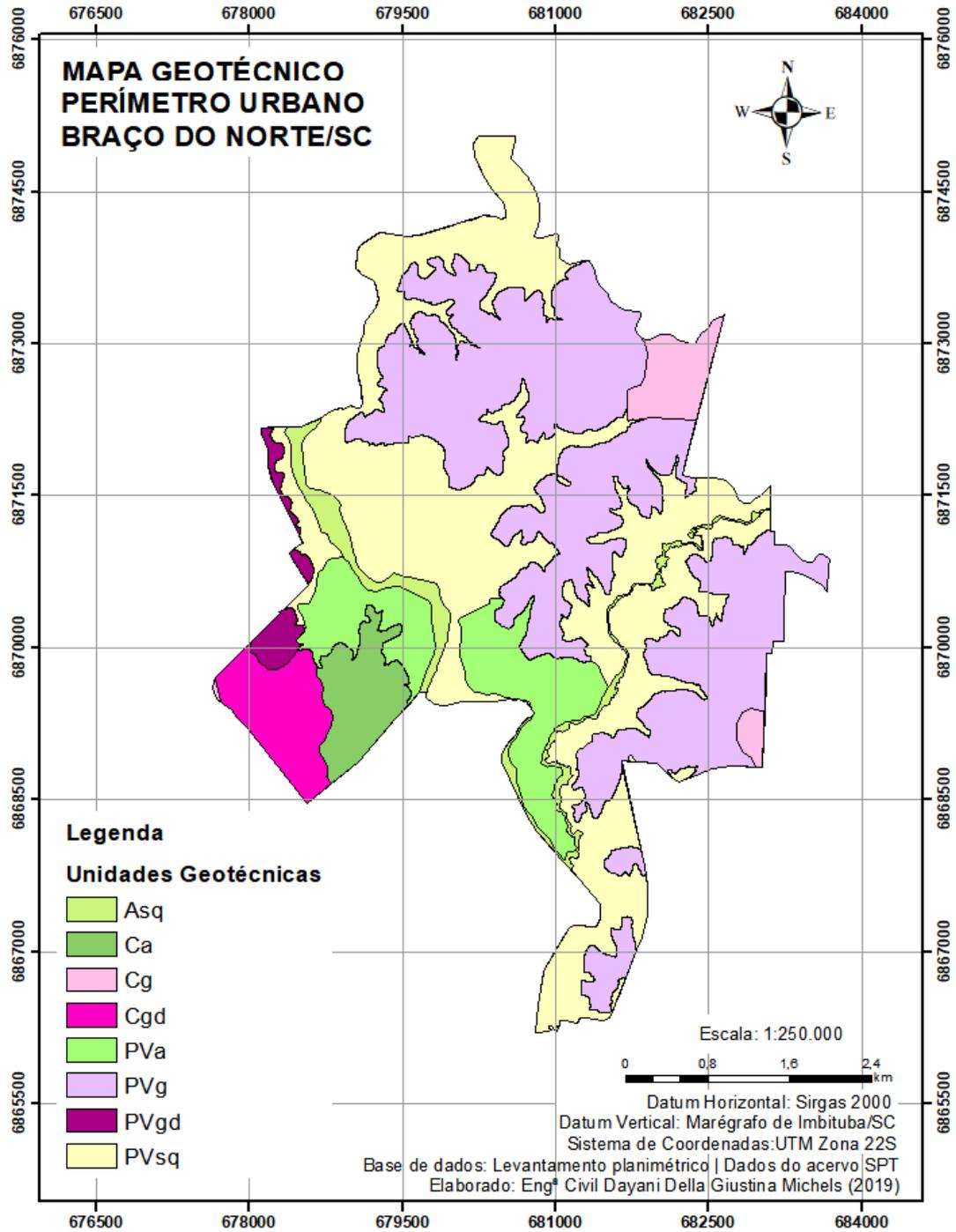
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A litologia da área de estudo é composta por 66% de Granito Imaruí-Capivari (localizado principalmente a leste do perímetro urbano), 15% de Arenito, 12% de sedimentos quaternários e 7% de Granitóide Santa Rosa de Lima (sudoeste da região).

Dos dados pedológicos foi extraída a informação de que a área urbana de Braço do Norte é composta por duas unidades pedológicas, Podzólico Vermelho-Amarelo e Cambissolo, com 89% e 11%, respectivamente. A unidade composta por Cambissolo localiza-se nas extremidades sudoeste, nordeste e sudoeste, de forma isolada e nas áreas de maior altitude, enquanto o Podzólico Vermelho-Amarelo ocorre de maneira distribuída na região.

Após o cruzamento dos dados e ajustes, apresentados na seção 4.3.2, o mapa geotécnico final foi elaborado e apresentado na Figura 36. Através do mapa geotécnico final é possível observar que o perímetro urbano do município de Braço do Norte/SC é formado por Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito, sedimentos quaternários e arenito; Cambissolo de substrato granito, granitóide e arenito; ao longo dos principais recursos hídricos (Rio Braço do Norte e Rio Bonito) apresentam-se os Depósitos Aluvionares de substrato sedimentos quaternários.

Figura 36 – Mapa Geotécnico Final.



De modo a analisar as mudanças das porcentagens das áreas referentes às unidades dos mapas geotécnicos preliminar e refinado é apresentada a Tabela 1. Sendo possível observar um acréscimo significativo de área na unidade PVsq passando de 12% para 36% da área. Enquanto a unidade Ca apresentou um acréscimo de apenas 1% da área no mapa final. A unidade Asq não era observada no mapa preliminar e passou a ocupar 3% de área do perímetro urbano de Braço do Norte/SC.

As unidades PVg, PVa e Cgd demonstram redução na porcentagem de sua área. Sendo a unidade PVg uma diferença de porcentagem de área mais significativa, com 63% no mapa preliminar e 38% no mapa final. Já as unidades PVa e Cgd diminuíram 2% e 1% de área, respectivamente. As unidades definidas como PVgd e Cg, apesar terem seus limites redefinidos, não apresentaram alteração na porcentagem de área.

Tabela 1 - Frequência das unidades geotécnicas: preliminar x final.

<b>Sigla</b>	<b>Unidade geotécnica</b>	<b>Área no mapa preliminar (%)</b>	<b>Área no Mapa redefinido (%)</b>
PVgd	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granitóide	2%	2%
Cg	Cambissolo de substrato granito	3%	3%
Cgd	Cambissolo de substrato granitóide	5%	4%
Asq	Depósitos Aluvionares de substrato sedimentos quaternários	-	3%
Ca	Cambissolo de substrato arenito	3%	4%
PVa	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato arenito	12%	10%
PVg	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito	63%	38%
PVsq	Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato sedimentos quaternários	12%	36%
<b>Total</b>		<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As unidades de solo Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito (PVg) e de substrato sedimentos quaternários (PVsq) compõe juntas 76% da área, tornando-se as mais representativas em termos de área.

## 5.2 CARTAS DE TIPO DE SOLO

As cartas de tipos de solo foram desenvolvidas a partir da interpolação do tipo krigagem aplicando-se o modelo teórico exponencial nos 58 furos de sondagens, iniciando-se a 1m e finalizando a 25m de profundidade, onde localiza-se o impenetrável à percussão. Nas cartas as cores mais claras representam solos mais finos e as cores mais escuras os solos mais grossos.

Na carta de tipo de solo para 1m de profundidade, Figura 37, pode ser observado apenas solos argilosos e siltosos. A argila ocupa 35,7% da área de estudo com aparecimento principalmente na porção central tendendo ao sul, leste e oeste. O silte aparece na maior parte da área de estudo ocupando 64,3%, localizado principalmente na extremidade norte.

Com o aumento da profundidade observou-se uma diminuição na camada de silte (tonalidade marrom claro) e um aumento de argila (tonalidade bege). As zonas de argila expandiram para a porção norte do perímetro urbano de Braço do Norte/SC.

Figura 37 - Carta de tipos de solo: 1m de profundidade.

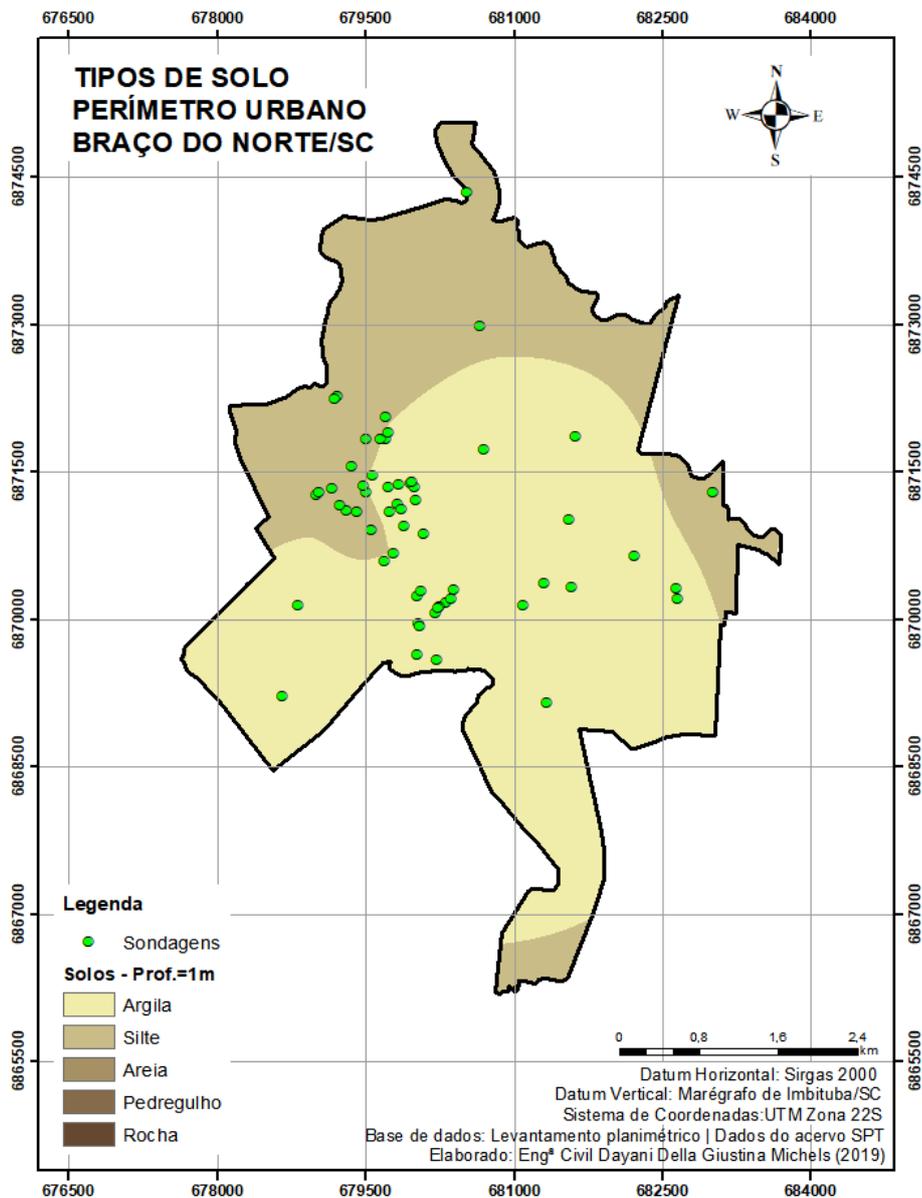
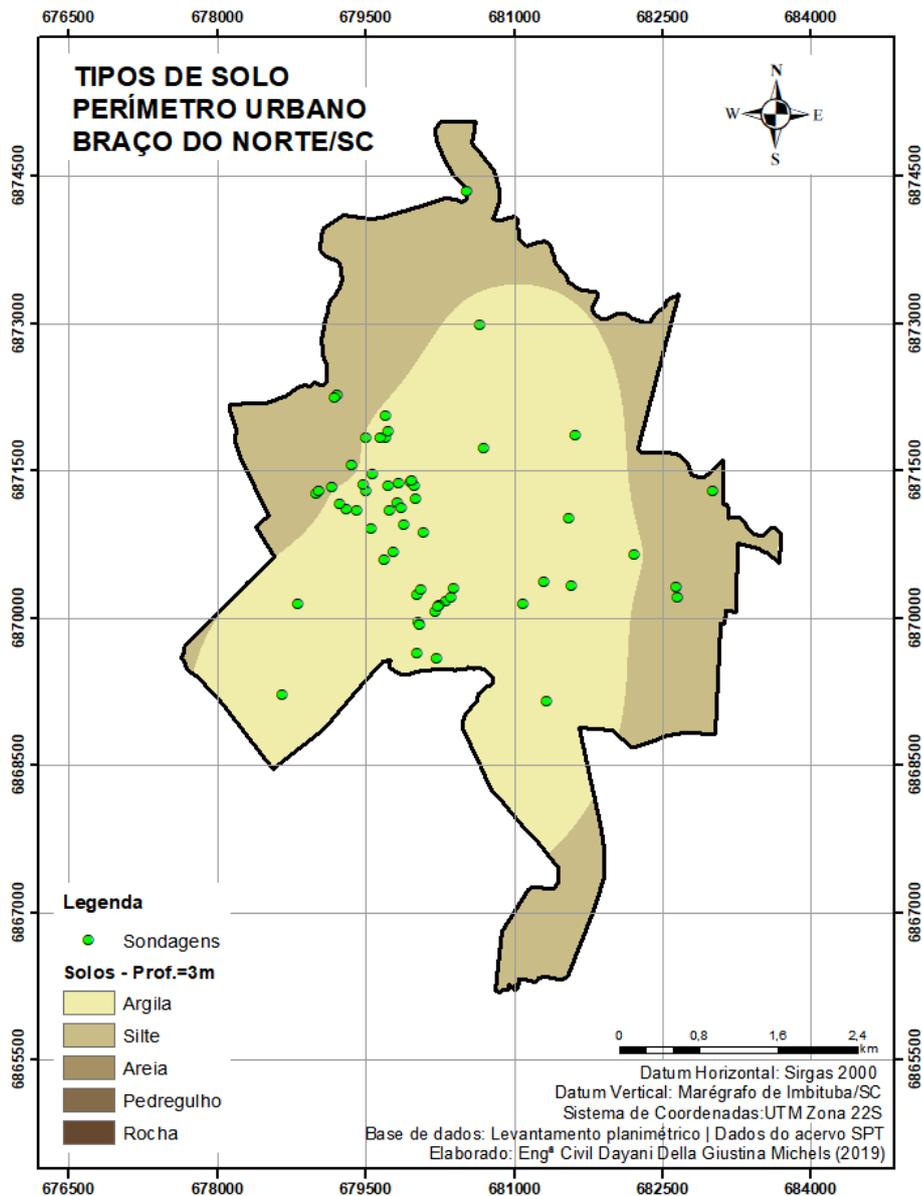


Figura 38 - Carta de tipos de solo: 3m de profundidade.



Analisando as cartas de tipo de solo a partir da profundidade de 5m observou-se o surgimento de areia na porção oeste e norte, bem como a diminuição de solos argilosos. Aos 9m de profundidade ocorrem os solos formados por pedregulho e rocha.

Na profundidade de 5m, o solo formado por argila diminui em relação a profundidade de 3m, ocupando 16,9% da área e restringindo-se à porção centro-sul principalmente nos bairros Trevo, Floresta, Bela Vista e São Januário. Ainda na profundidade de 5m, a areia ocorre nas extremidades oeste e norte, ocupando 31,6 % da área, enquanto o solo siltoso abrange a região central, sul, leste e parte da região sudoeste ocupando um total de 51,5% da área de estudo.

O solo formado por areia avança para a porção central da área de estudo na profundidade de 7m, ocupando 45,3% da área. Por consequência diminui o solo formado por silte, o qual passa a ocupar na referida profundidade 54,7% da área.

Na profundidade de 9m, observa-se o surgimento da rocha na porção centro-oeste, três pontos isolados de pedregulhos, silte na porção centro-leste, argila na porção centro-sul e areia distribuído por toda área.

Já na profundidade de 11m, o solo formado por pedregulho e por rocha expandem-se ao redor das manchas iniciais, quando comparado com a profundidade de 9m. A presença dos solos siltosos diminuem em direção a parte central e a argila reduz sua participação, isolando-se em um pequeno fragmento na porção central.

Conforme Tabela 2 e cartas representadas entre as Figura 37 e 49, observa-se uma oscilação entre as granulometrias, sendo que até a profundidade de 9m as transições entre as camadas não aumentaram ou diminuíram de forma constante ao longo das profundidades. O solo do tipo silte predomina nas profundidades de 1m, 5m e 7m, com uma ocupação de 64,3%, 51,5% e 54,7% da área, respectivamente. A argila predomina na profundidade de 3m, com uma ocupação de 61,1% da área do perímetro urbano. Nas profundidades de 9m e 11m, a areia é predominante, com 50,4% e 44,7% da área de estudo, respectivamente.

As camadas de pedregulhos e rochas são mais superficiais nas unidades geotécnicas de substrato arenito e sedimentos quaternários, com solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Cambissolo. Tal característica também é observada nas proximidades do Rio Braço do Norte e nas áreas com maior ocupação urbana.

A camada de pedregulho ocorre inicialmente aos 9m de profundidade e aumenta de forma gradativa até a profundidade de 17m, a partir da qual entra em redução e dissipa-se na profundidade de 23m.

A areia apresenta sua maior participação na profundidade de 9m, a partir da qual começa a perder representatividade em relação a área e extingue-se na profundidade de 21m. No entanto, aos 23m de profundidade, a referida camada granulométrica volta a parecer em pequenos fragmentos ao leste e centro-norte do perímetro urbano de Braço do Norte/SC.

Por meio das cartas de solo é possível perceber que a camada de rocha avança em direção ao leste e norte até a profundidade de 15m, a partir da qual, com o avanço da profundidade, inicia-se também sua expansão ao sul.

Até a profundidade de 21m os solos apresentam uma sequência de diminuição de silte, areia e pedregulho e um aumento da camada de rocha. No entanto, na carta de 23m, os solos

caracterizados como areia e silte voltam a aparecer em pontos isolados na porção centro-norte e leste, nos bairros Nossa Senhora de Fátima e Uruguaia, e Sertão do Rio Bonito e Rio Bonito.

Figura 39 - Carta de tipos de solo: 5m de profundidade.

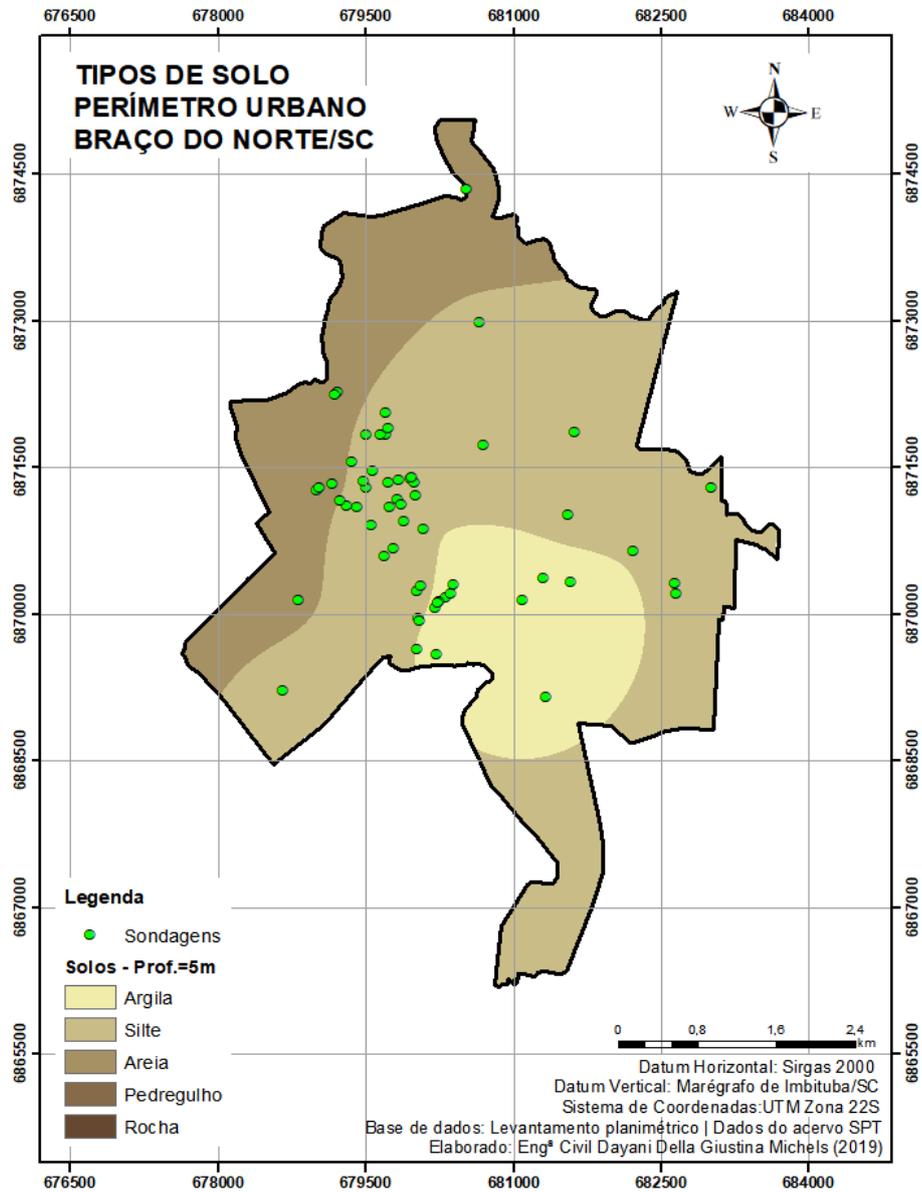


Figura 40 - Carta de tipos de solo: 7m de profundidade.

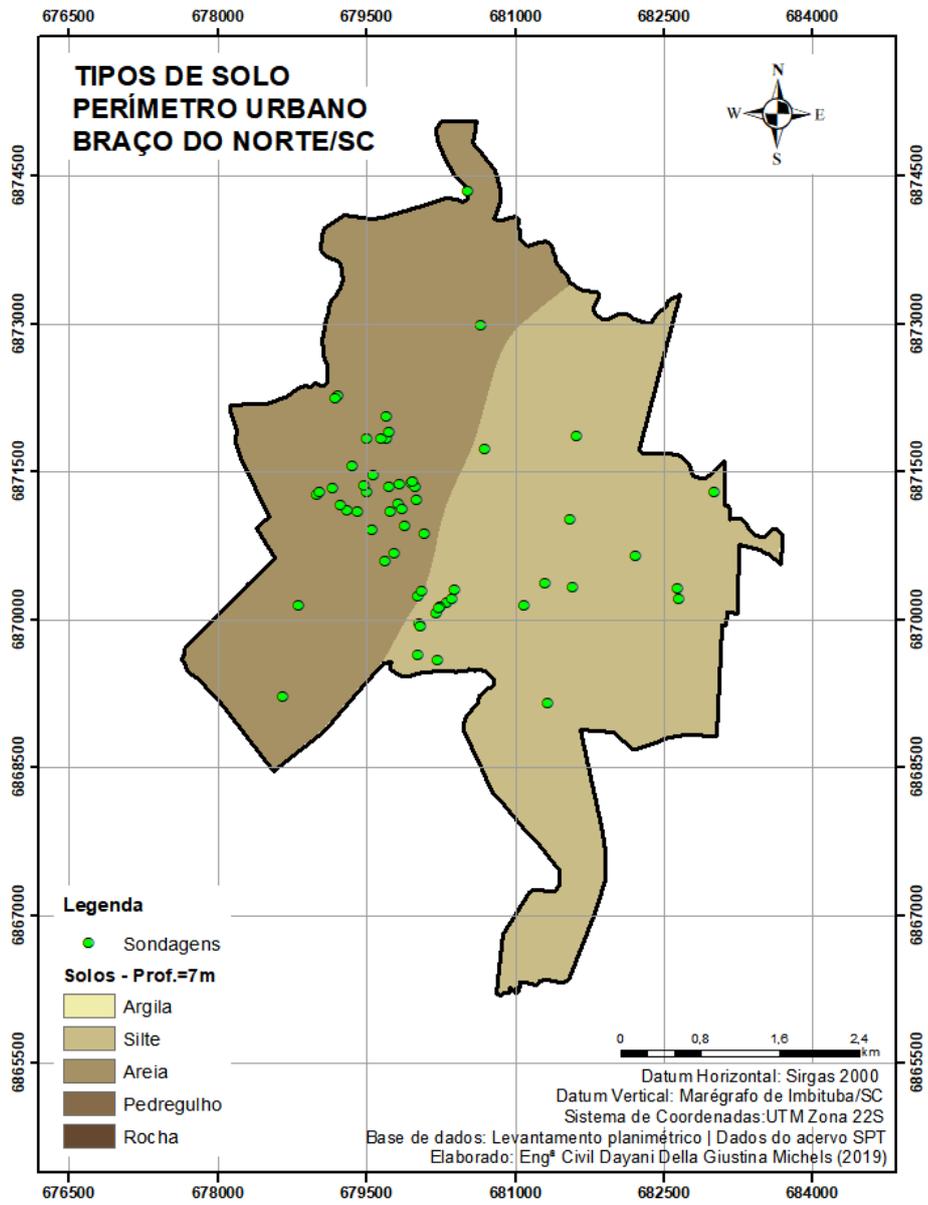


Figura 41 - Carta de tipos de solo: 9m de profundidade.

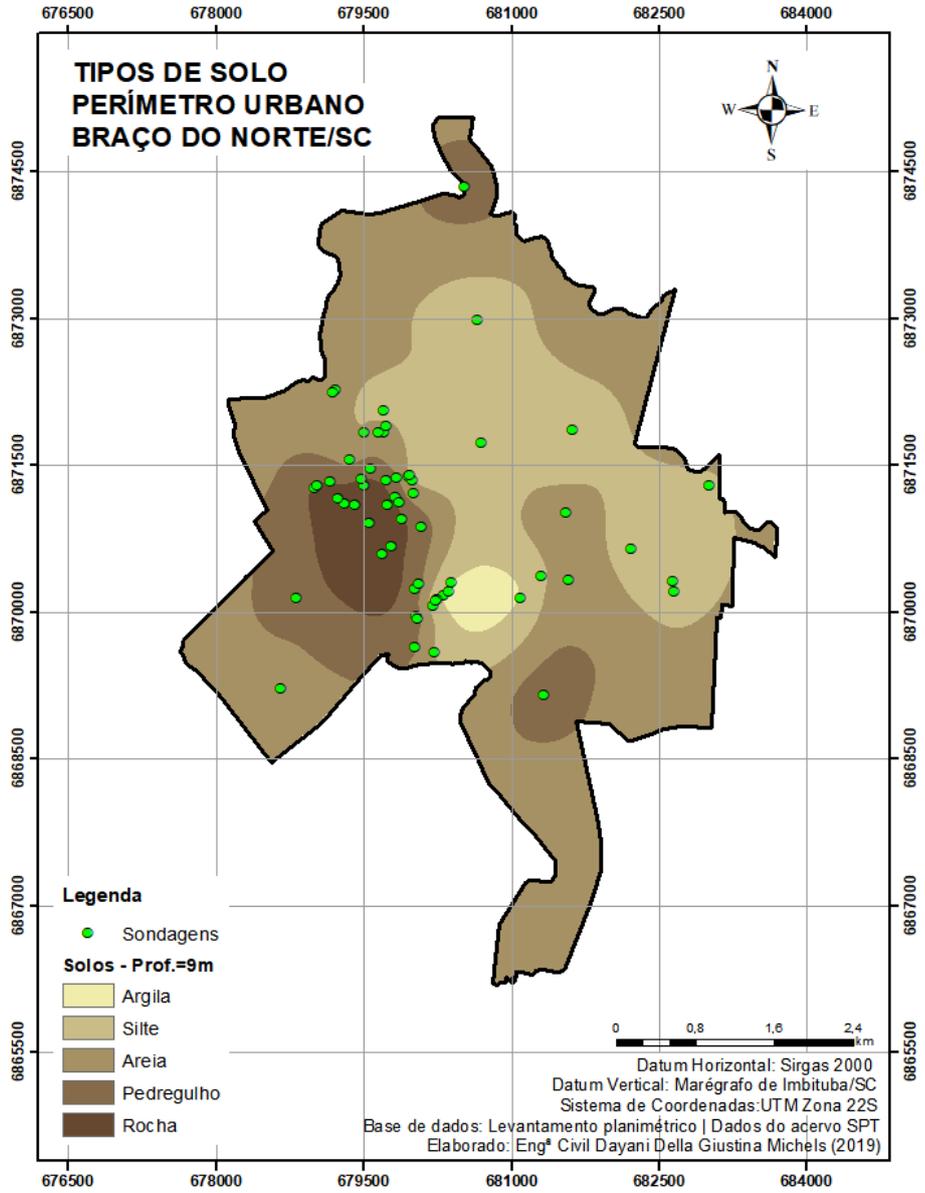


Figura 42 - Carta de tipos de solo: 11m de profundidade.

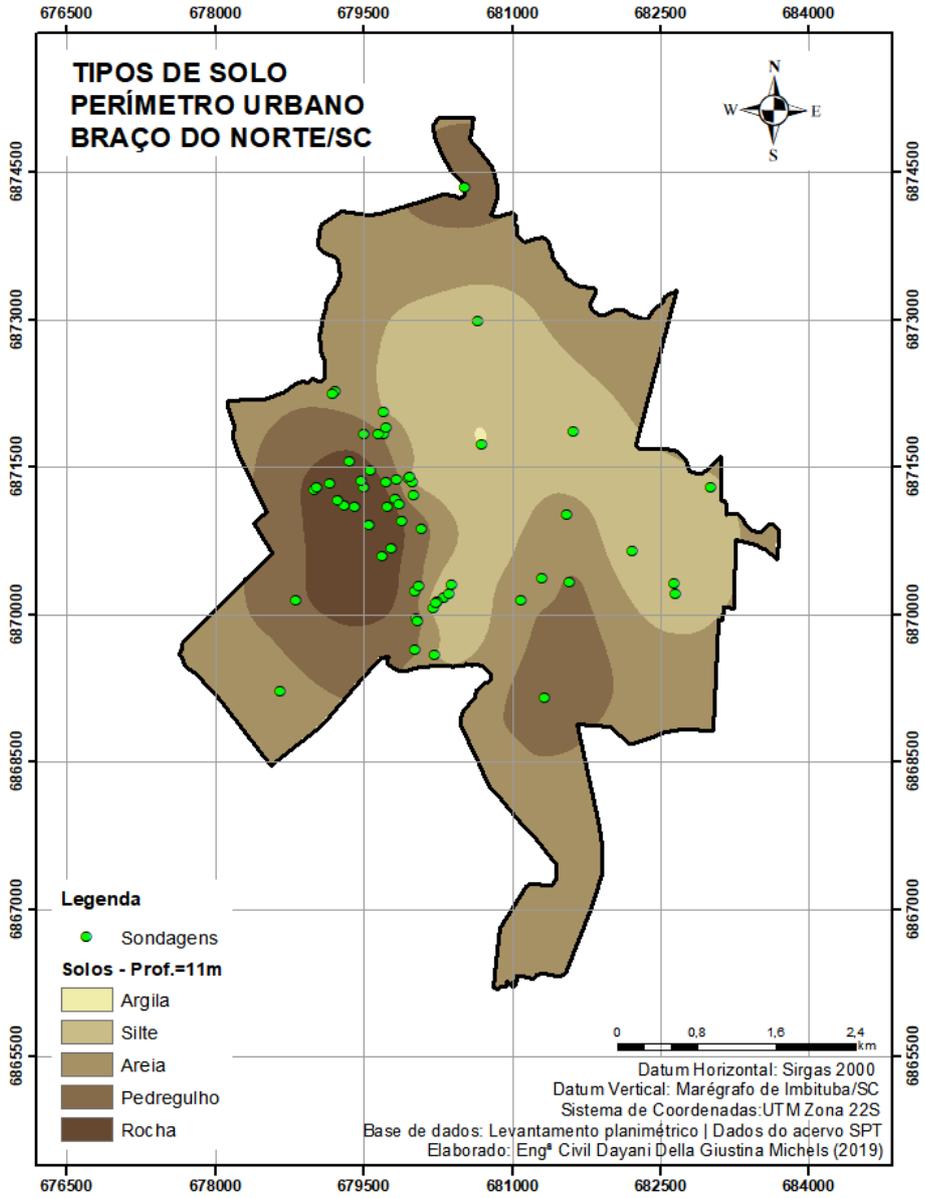


Figura 43 - Carta de tipos de solo: 13m de profundidade.

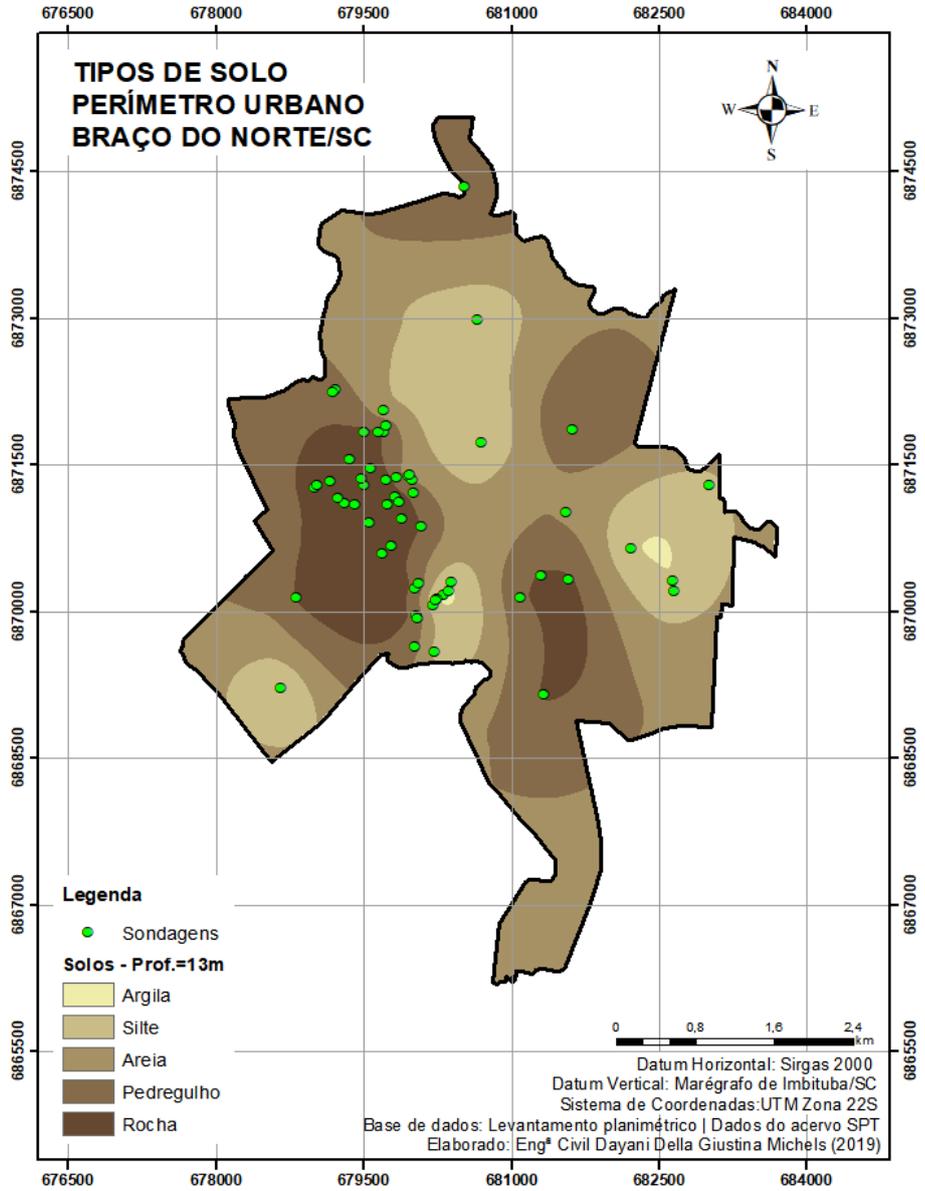


Figura 44 - Carta de tipos de solo: 15m de profundidade.

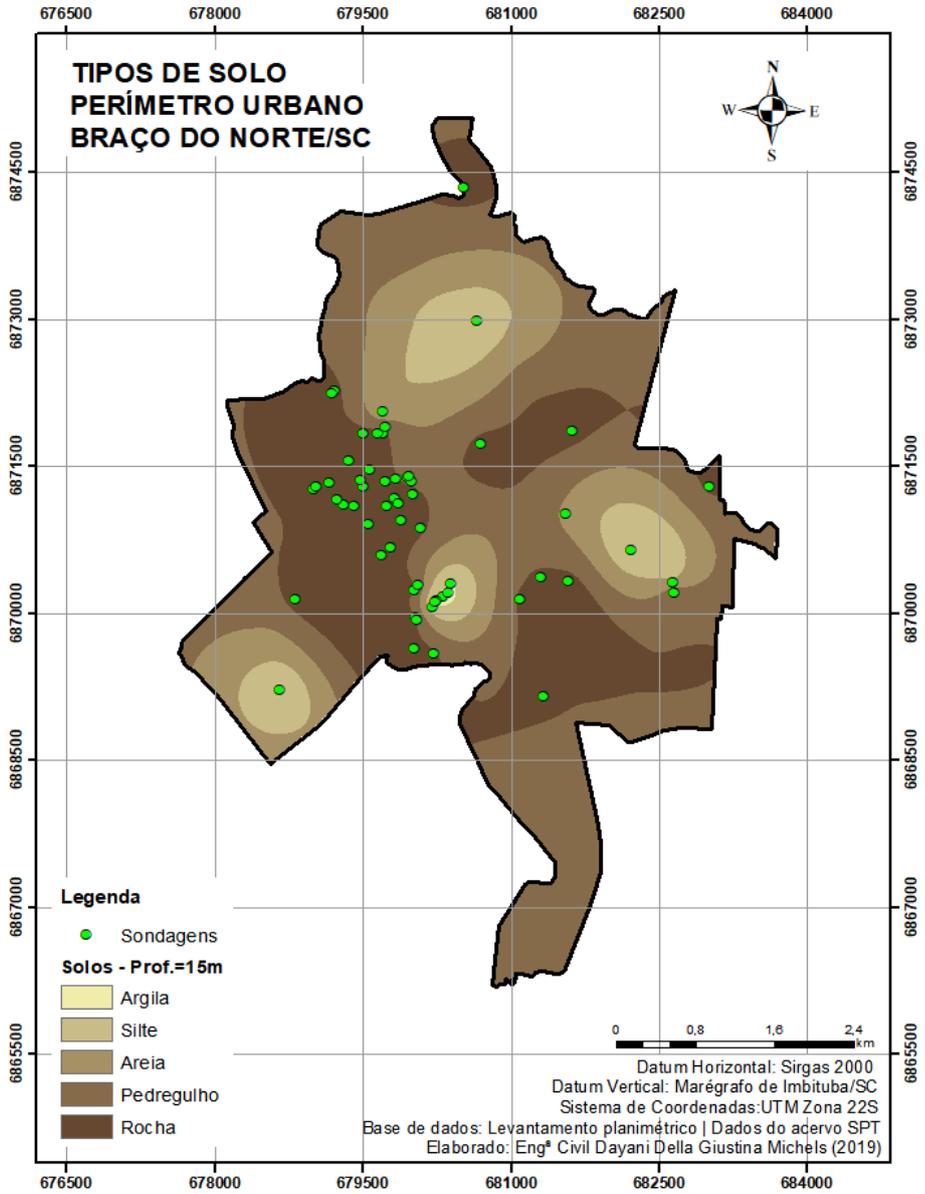


Figura 45 - Carta de tipos de solo: 17m de profundidade.

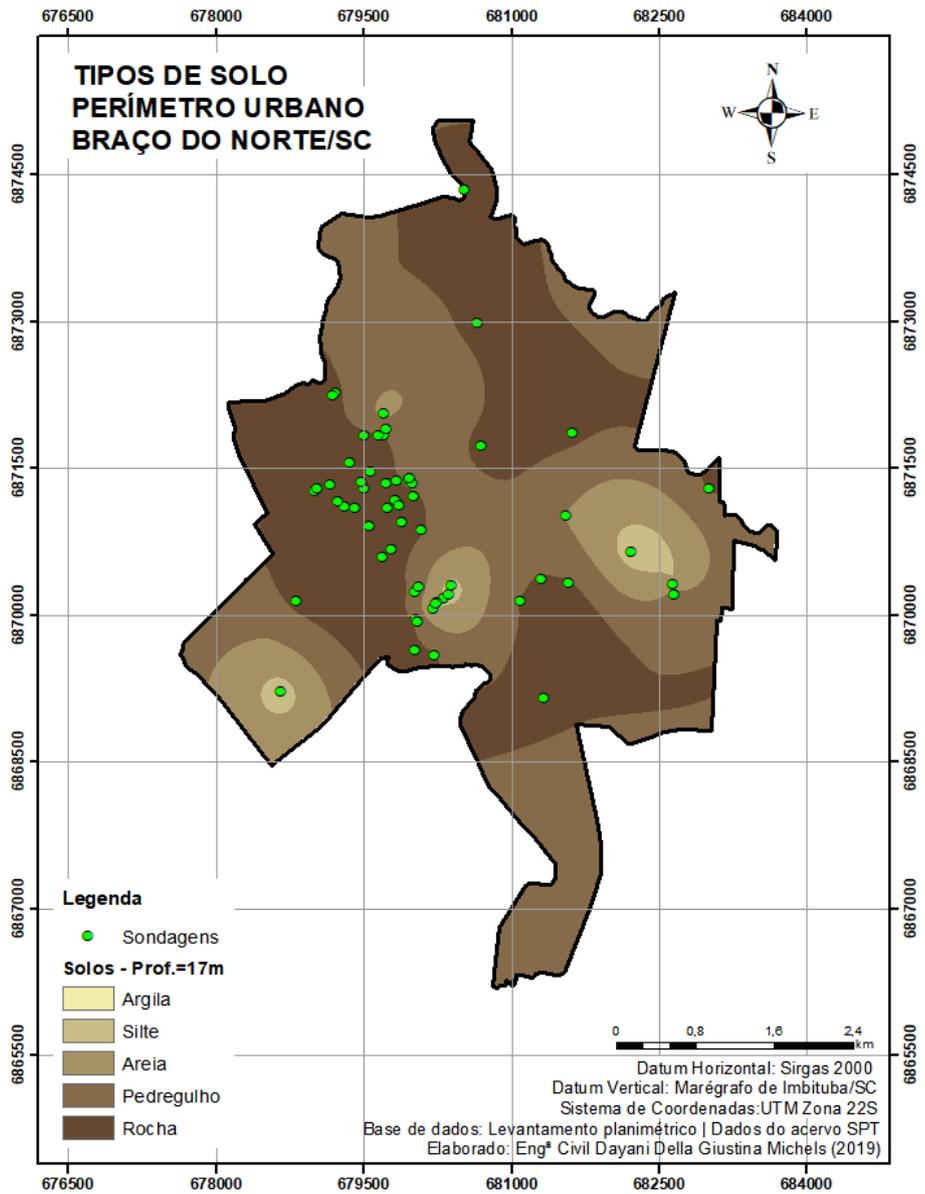


Figura 46 - Carta de tipos de solo: 19m de profundidade.

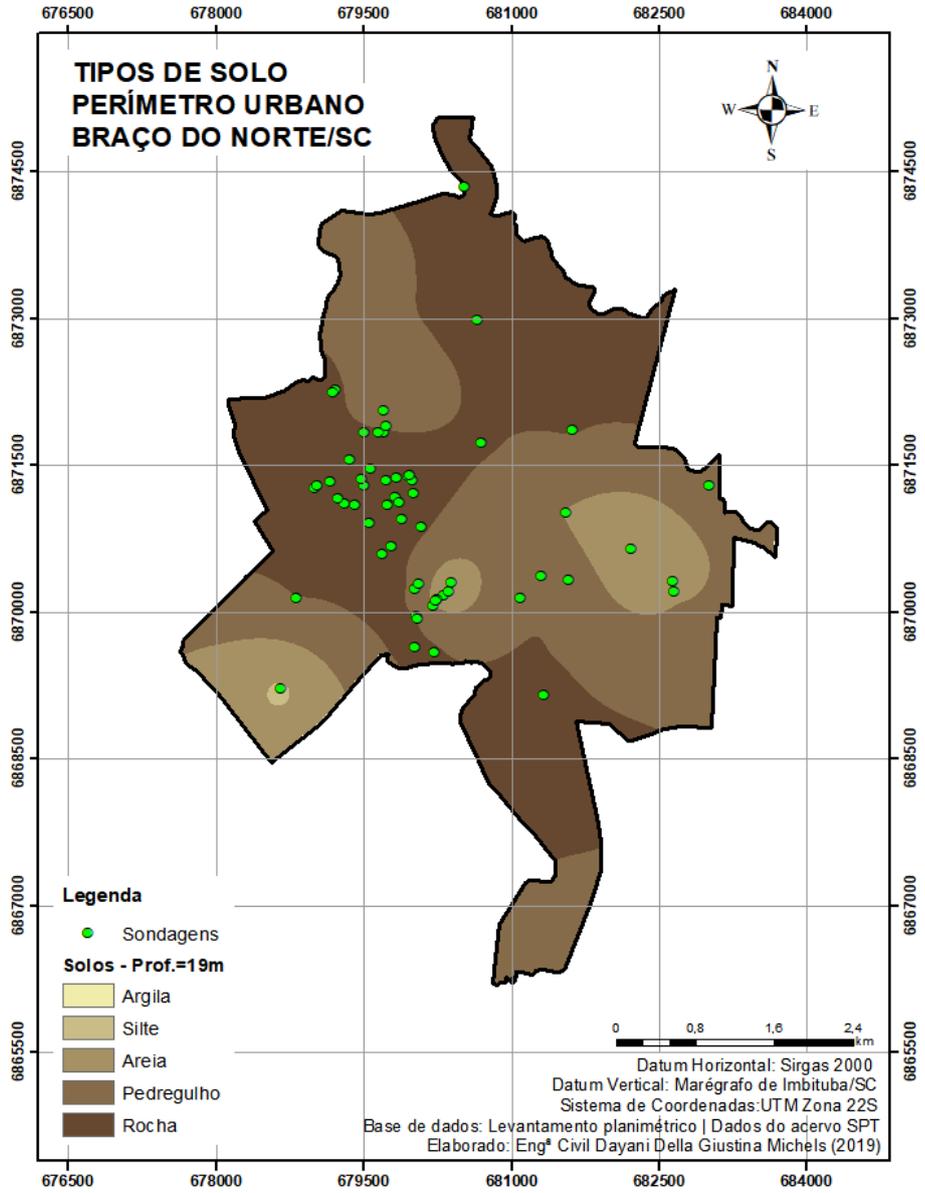


Figura 47 - Carta de tipos de solo: 21m de profundidade.

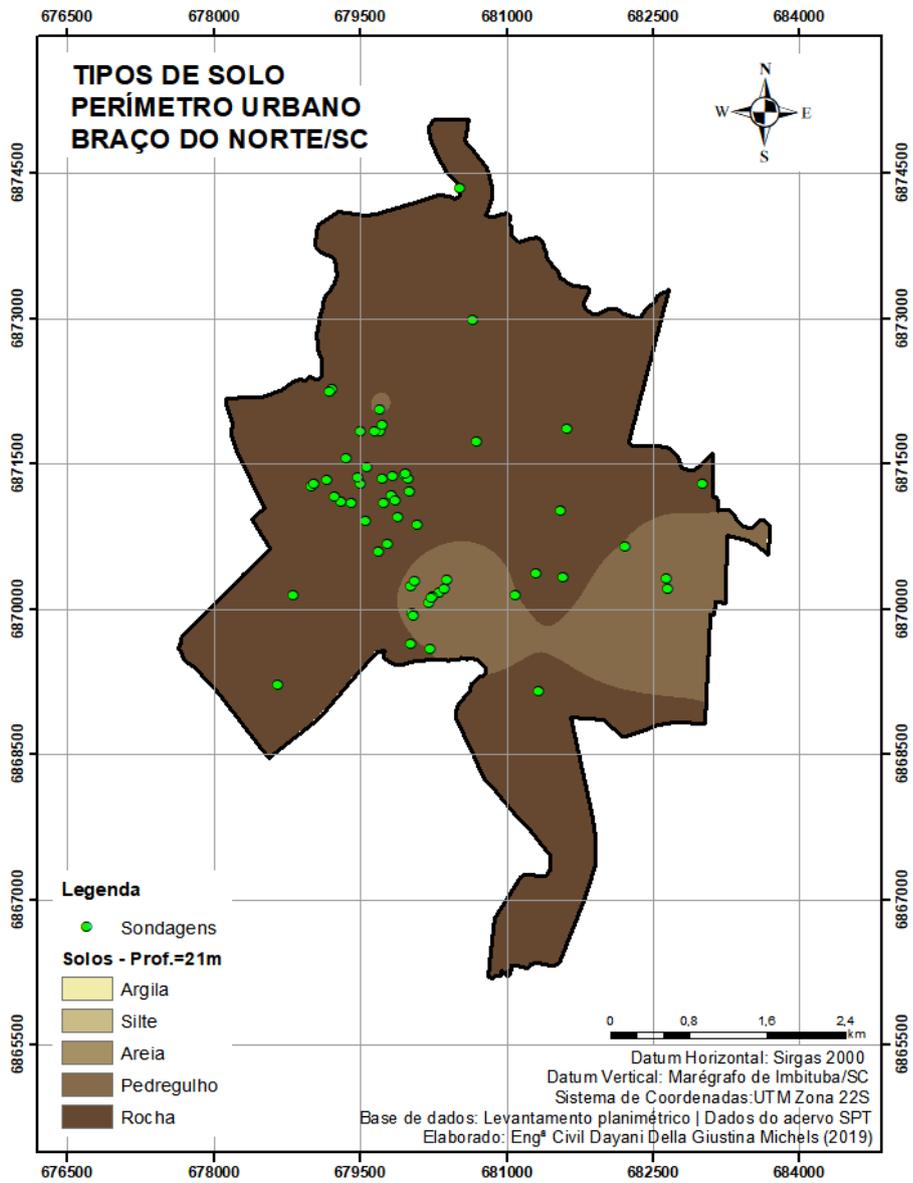


Figura 48 - Carta de tipos de solo: 23m de profundidade.

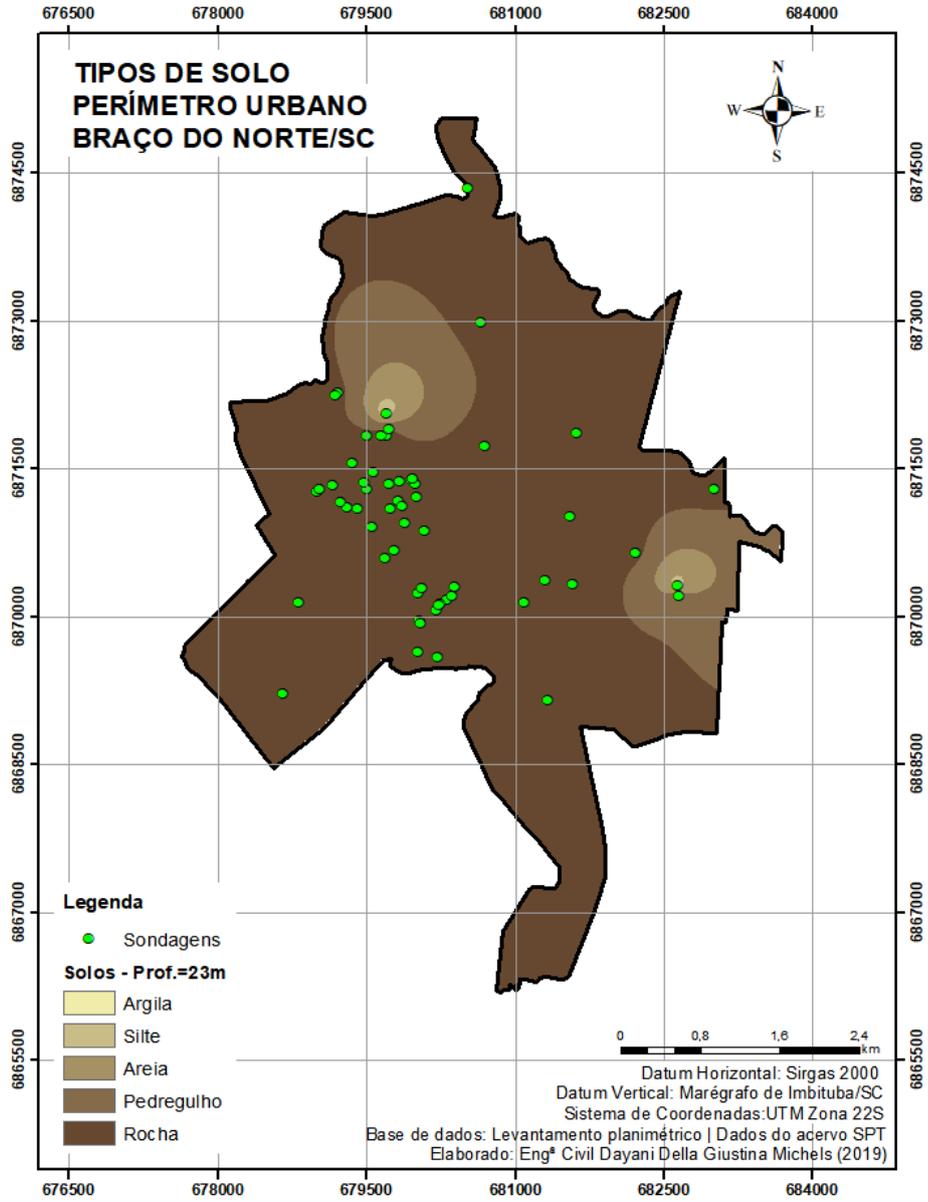
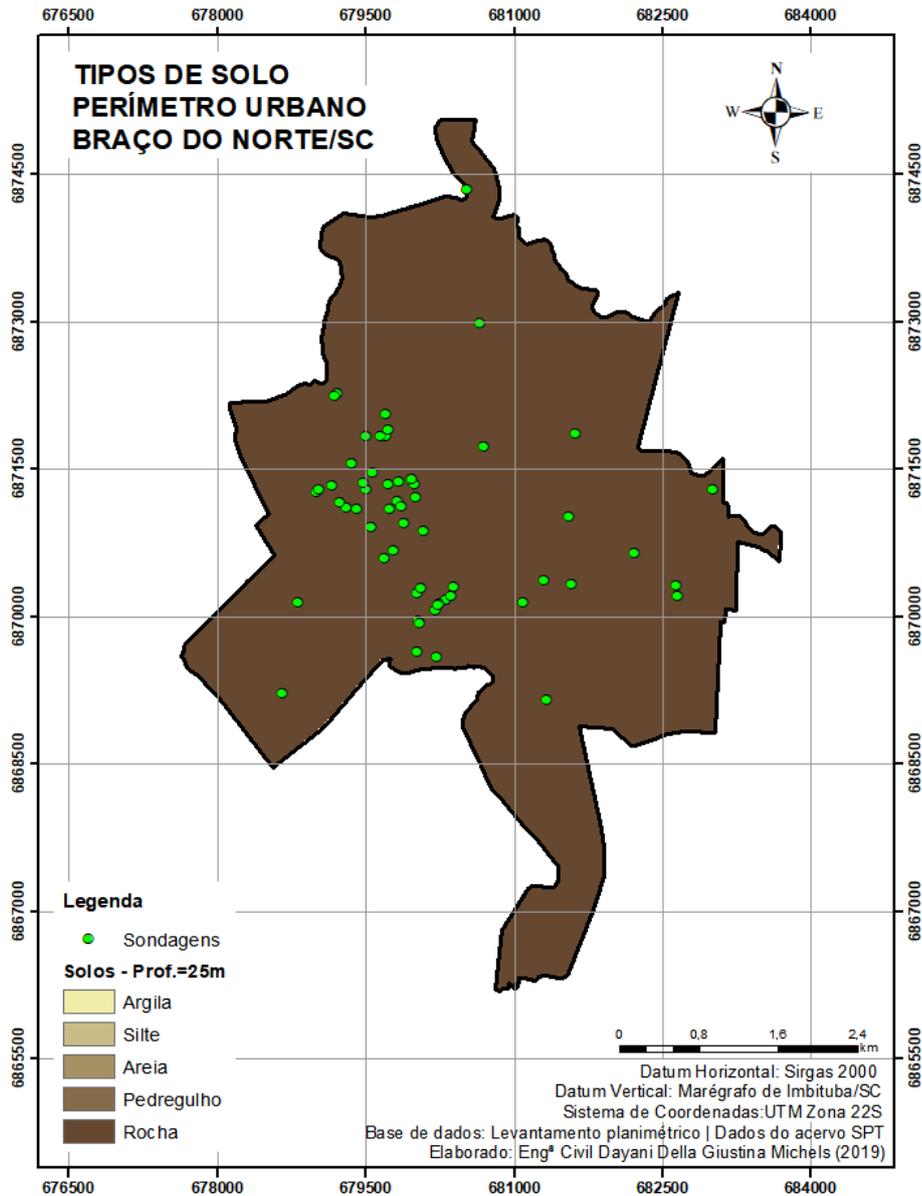


Figura 49 - Carta de tipos de solo: 25m de profundidade.



Por meio da Tabela 2, observa-se que a argila apresenta uma participação mais expressiva até os 5m de profundidade e atinge a sua maior participação na camada de 3m com ocupação de 61,1% da área. Já o solo silteoso recobre 64,3% da área no primeiro metro de profundidade, a partir da qual inicia sua diminuição nas profundidades subsequentes, deixando de manifestar-se nas profundidades de 21m e 25m.

O solo caracterizado como areia surge na camada de 5m, atingindo sua máxima cobertura na camada de 9m, onde atinge 50,4% da área. A partir da referida profundidade o solo diminui sua participação até extinguir-se na profundidade de 21m. No entanto, na profundidade de 23m aponta de forma discreta na zona leste e nordeste da área de estudo.

Com relação ao pedregulho, seu surgimento se dá na profundidade de 9m, de onde avança em termos de porcentagem de área até a profundidade de 17m, ocupando uma área de 46,0% da área. A partir da referida profundidade, a camada de pedregulho volta a reduzir sua participação em quantidade de área, até extinguir-se na profundidade de 23m.

Assim como o pedregulho, a rocha surge de forma discreta na camada de 9m, com ocupação de 4,6% da área, crescendo seu percentual de participação em área até ocupar todo o perímetro urbano aos 25m de profundidade.

A Tabela 2 apresenta-se de maneira complementar as análises das cartas conforme a frequência de áreas para cada tipo de solo nas profundidades interpoladas.

Tabela 2 - Porcentagem de área para cada tipo de solo.

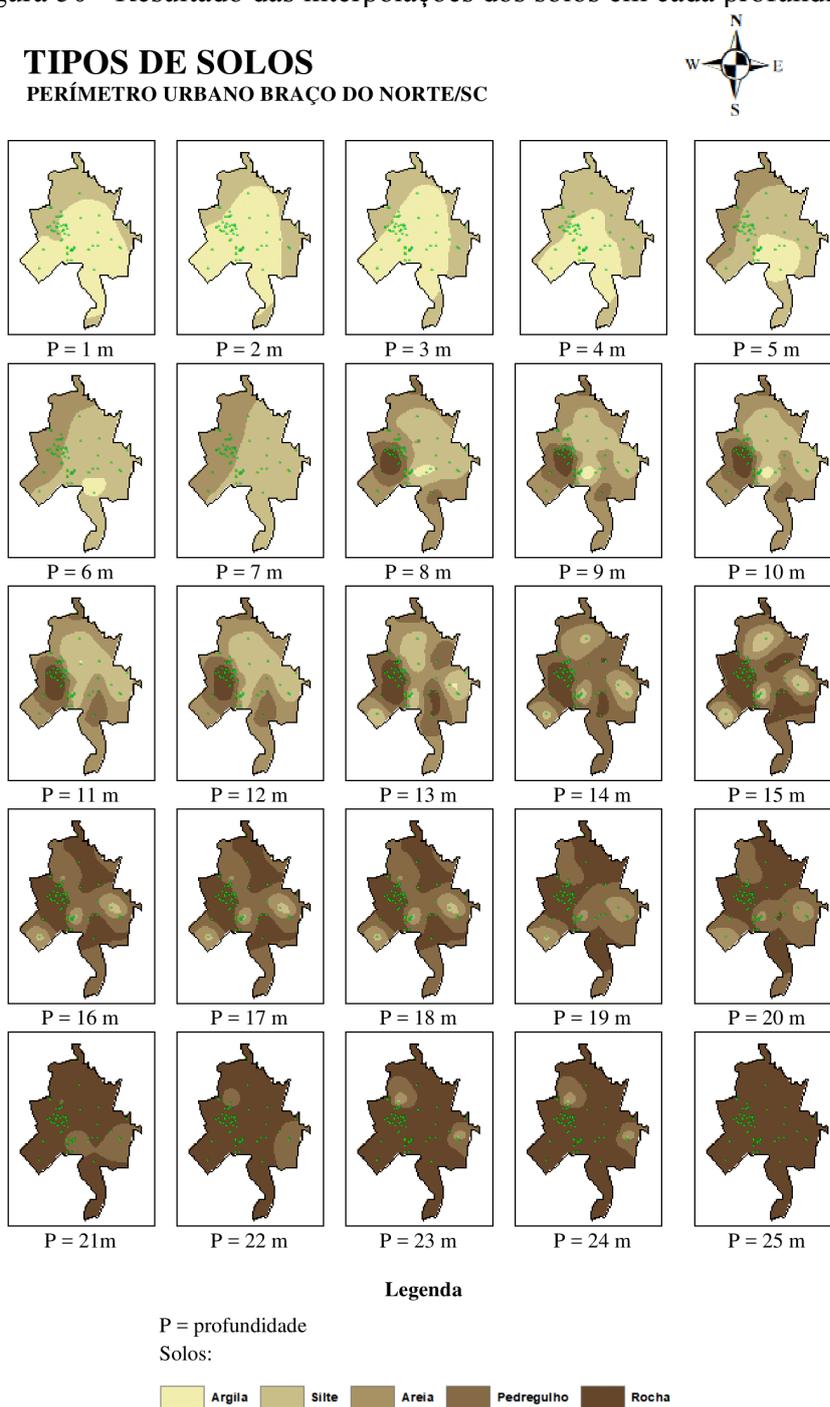
Tipo de solos	% área						
	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m
	Fig. 37	Fig. 37	Fig. 38	Fig. 38	Fig. 38	Fig. 38	Fig. 39
<b>Argila</b>	35,7%	61,1%	16,9%	-	1,6%	0,1%	0,4%
<b>Silte</b>	64,3%	38,9%	51,5%	54,7%	30,1%	30,6%	19,3%
<b>Areia</b>	-	-	31,6%	45,3%	50,4%	44,7%	38,8%
<b>Pedregulho</b>	-	-	-	-	13,4%	18,3%	20,8%
<b>Rocha</b>	-	-	-	-	4,6%	6,4%	20,7%
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>						
Tipo de solos	% área						
	15m	17m	19m	21m	23m	25m	-
	Fig. 39	Fig. 39	Fig. 39	Fig. 40	Fig. 40	Fig. 40	-
<b>Argila</b>	0,1%	-	-	-	-	-	-
<b>Silte</b>	7,9%	1,5%	0,2%	-	0,2%	-	-
<b>Areia</b>	17,6%	10,5%	11,2%	-	2,1%	-	-
<b>Pedregulho</b>	45,1%	46,0%	39,6%	17,0%	11,8%	-	-
<b>Rocha</b>	29,4%	42,0%	49,1%	83,0%	86,0%	100,0%	-
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	-

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Considerando as pequenas mudanças de tipos de solos ao longo das camadas e de forma a reduzir a quantidade de cartas apresentadas, estas foram expostas em intervalo de dois metros de profundidade. A Figura 50 traz uma compilação de todas as cartas geradas, possibilitando a visualização simultaneamente da variação granulométrica do solo ao longo das camadas.

Analisando a Tabela 02 e a Figura 50, possível observar que com o avanço da profundidade há um aumento da granulometria dos solos.

Figura 50 - Resultado das interpolações dos solos em cada profundidade.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

### 5.3 MAPAS DE APTIDÃO PARA FUNDAÇÕES

#### 5.3.1 Cartas de profundidade estimada do lençol freático

As cartas de profundidade do lençol freático foram confeccionadas em duas etapas, a primeira com o uso exclusivo dos dados obtidos dos laudos de sondagens SPT e a segunda com a incorporação dos dados da hidrografia do rio Braço do Norte e rio Bonito.

Ao analisar a Figura 51, profundidade do lençol freático, pode ser observado que o nível freático se encontra mais próximo à superfície nas regiões mais claras, sendo localizado nos bairros Centro, Nossa Senhora de Fátima e INSS. A região com tonalidade mais escura o nível freático é superior a 9m, localizando-se na zona noroeste do perímetro urbano, nos bairros Vila Nova e Nossa Senhora de Fátima. Na parte central da área de estudo e região nordeste, nos bairros São Basílio, Lado da União e Uruguaia, o nível d'água varia entre 5m e 7m.

Nas zonas menos densas de sondagens, regiões com menos ocupações apresentam um contorno mais suave para as faixas de profundidade do NA, enquanto que os locais com maior número de dados observados possuem curvas mais detalhadas.

Ao inserir os dados das principais hidrografias, rio Braço do Norte e rio Bonito, Figura 52, observa-se que nas proximidades das calhas dos cursos d'água há uma suavização nas faixas de profundidade do NA, bem como uma menor profundidade do lençol freático e maiores áreas com o nível d'água localizado entre as profundidades 1m e 2m. Ao comparar a Figura 51 e a Figura 52, verifica-se que na última a área de estudo apresenta-se com tonalidades mais claras devido a diminuição da profundidade do lençol freático.

Destaca-se que, ao gerar-se as cartas de profundidade estimada do lençol freático, não foi considerada as datas de realização dos ensaios SPT. Portanto, deve-se levar em consideração a variação do nível d'água ao longo das estações do ano e considerar a profundidade estimada do lençol freático e sua cota como sazonal.

Figura 51 - Profundidade do lençol freático - Sondagens SPT.

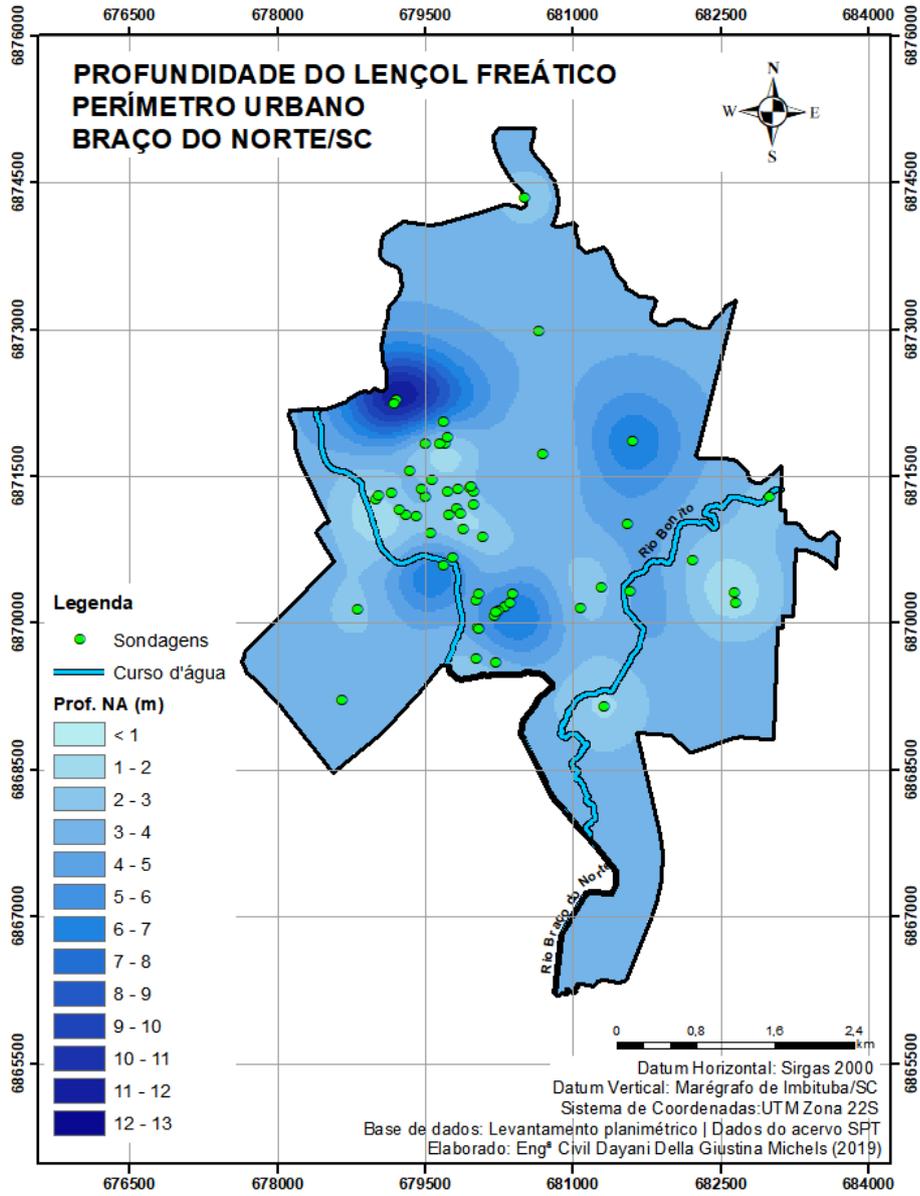
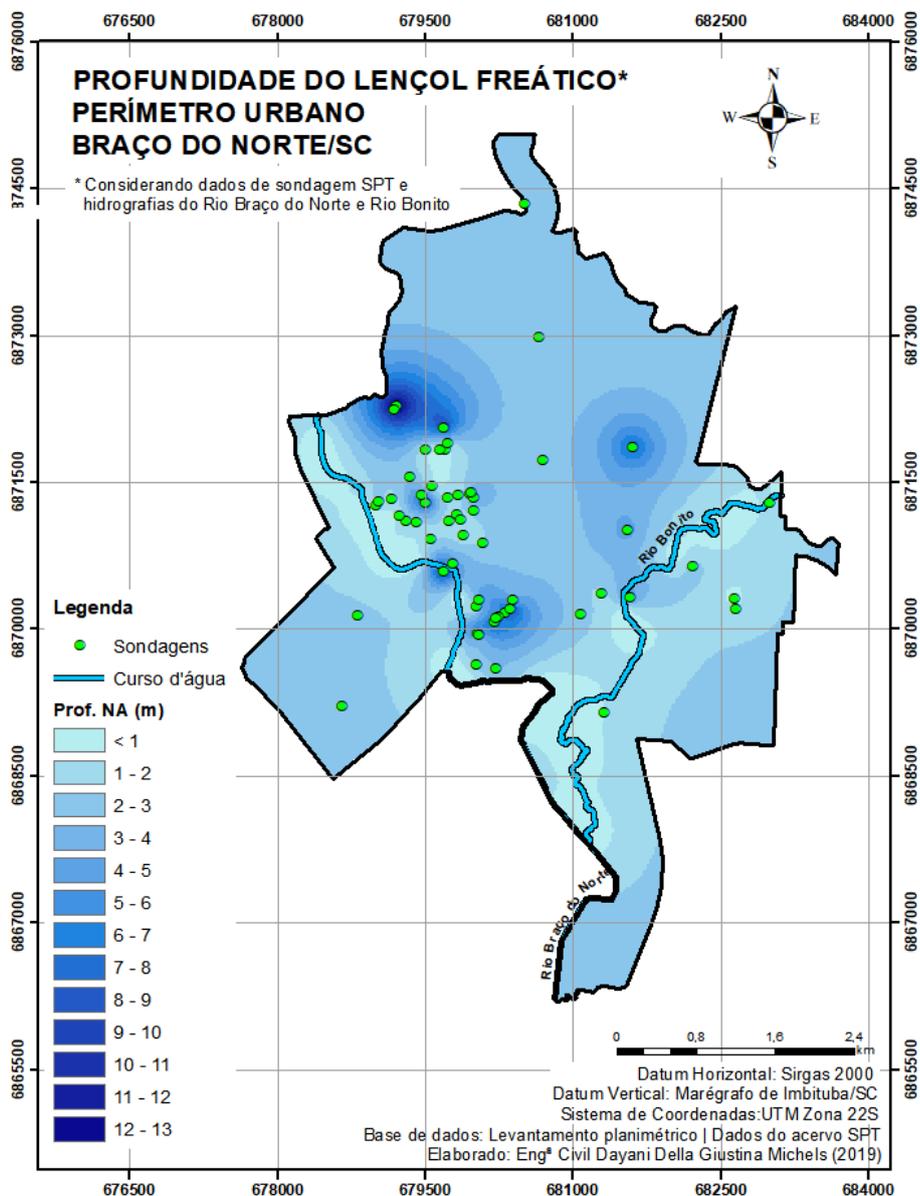


Figura 52 - Profundidade do lençol freático - sondagens SPT + hidrografia.



Em termos quantitativos, a Tabela 5 foi elaborada com a porcentagem de área que se enquadrou nas faixas de profundidade do lençol freático para as duas situações simuladas. Observa-se que, com inserção das principais hidrografias, maior parte do perímetro urbano apresentou o lençol freático menos profundo, passando do intervalo de profundidade 3m e 4m para 2m e 3m.

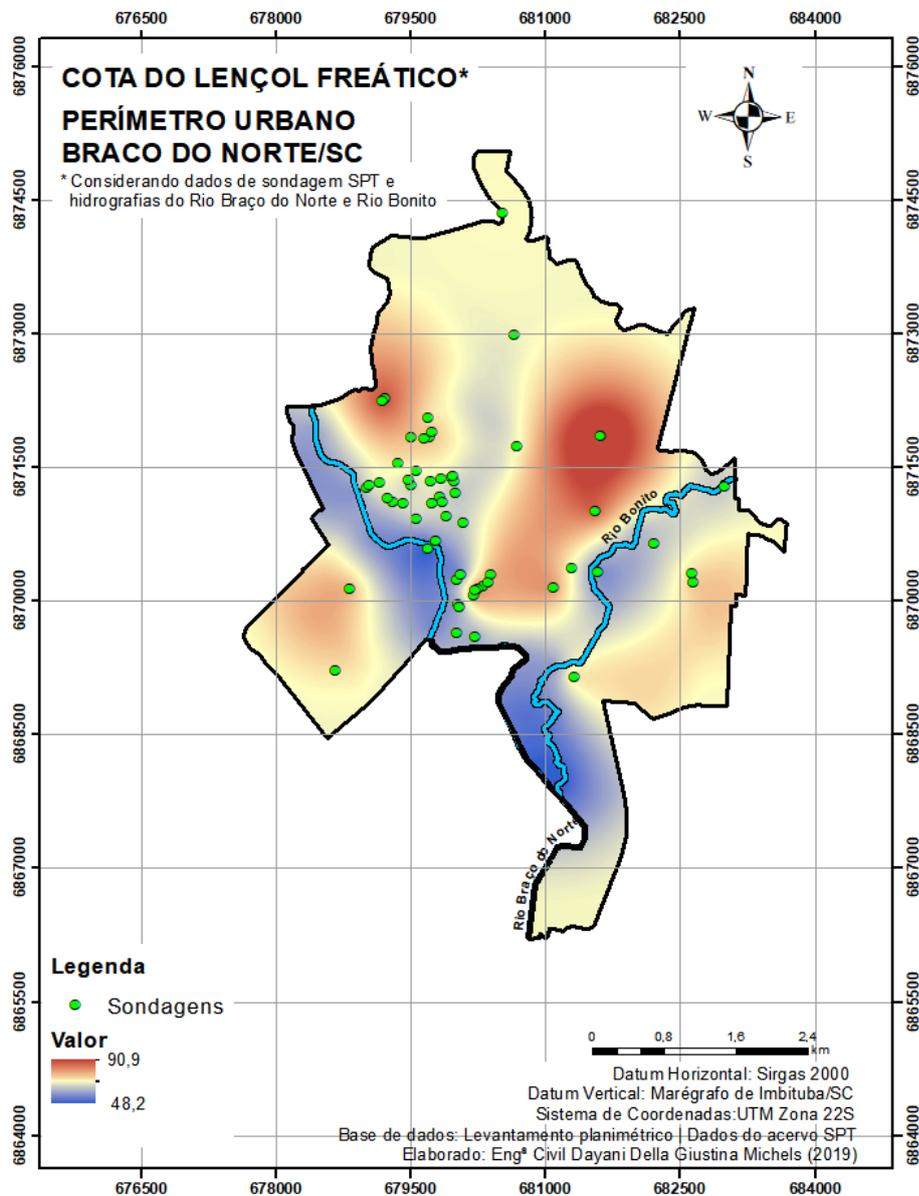
Tabela 3 - Frequência de área para a profundidade do lençol freático.

Profundida do NA (m)	% área	
	Situação 1 (dados SPT)	Situação 2 (dados SPT + hidrografia)
	Fig. 42	Fig. 43
< 1	0,10%	10,42%
1 - 2	2,59%	22,05%
2 - 3	15,27%	50,25%
3 - 4	57,31%	9,52%
4 - 5	13,64%	3,45%
5 - 6	5,36%	1,69%
6 - 7	3,11%	1,11%
7 - 8	0,73%	0,66%
8 - 9	0,58%	0,40%
9 - 10	0,53%	0,16%
10 - 11	0,47%	0,11%
11 - 12	0,31%	0,11%
12 - 13	0,00%	0,07%
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A partir dos dados de profundidade do NA, foi possível o desenvolvimento da carta da Figura 53, representando a superfície estimada do lençol freático em termos de cotas, obtidos através da diferença de elevação do terreno e da profundidade do NA, tendo como referência o marégrafo de Imbituba/SC.

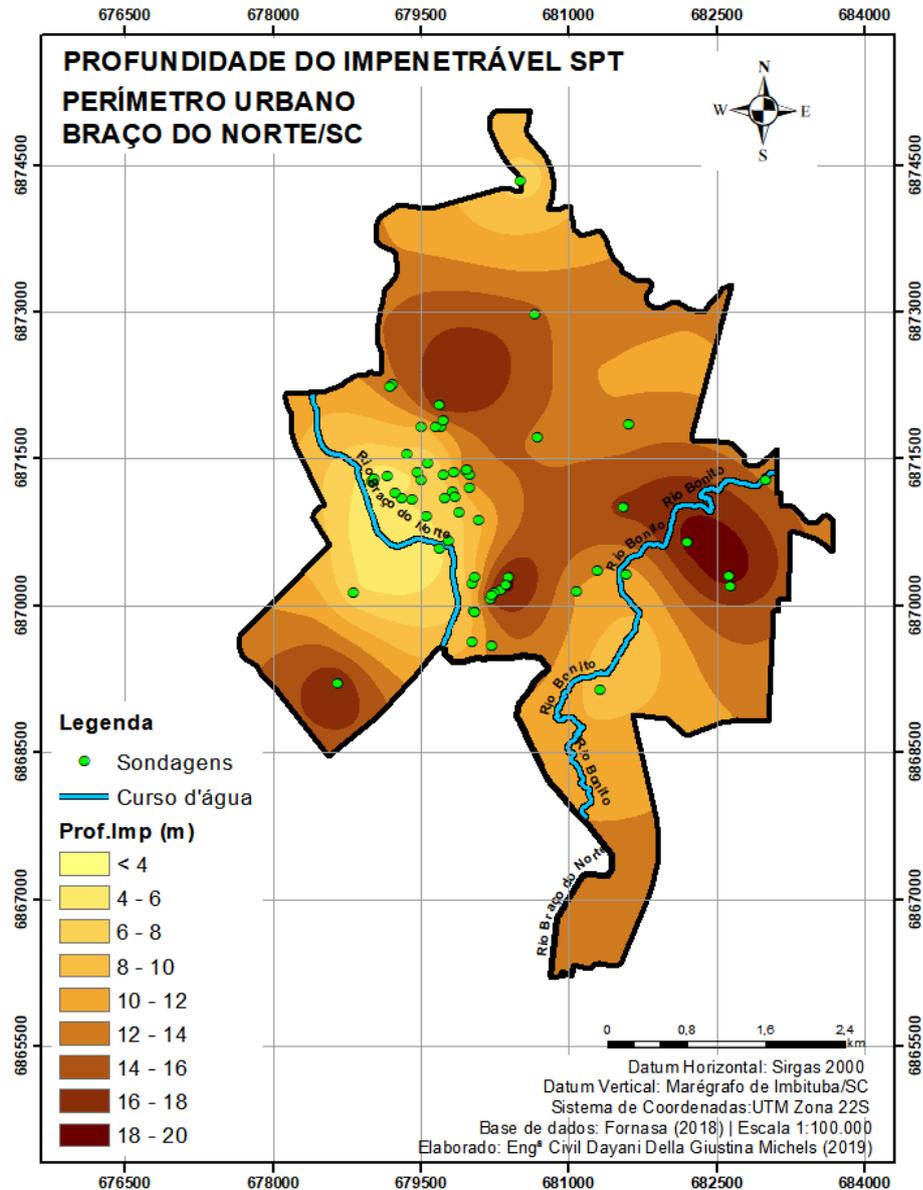
Figura 53 - Cota do lençol freático - SPT + hidrografia.



### 5.3.2 Cartas de profundidade estimada do impenetrável à percussão

A superfície estimada do impenetrável à percussão foi gerada aplicando-se a técnica de krigagem por meio do modelo teórico esférico nos 58 furos de sondagens. A Figura 54 apresenta o resultado final da profundidade estimada do impenetrável à percussão no perímetro urbano de Braço do Norte/SC.

Figura 54 - Profundidade do impenetrável à percussão.



Observa-se que as regiões com cores mais claras trazem impenetráveis mais superficiais e as cores mais escuras impenetráveis mais profundos. As zonas com uma menor densidade de sondagens, áreas com menor adensamento populacional, apresentam contornos para as faixas de profundidade do impenetrável mais suavizando quando comparadas às zonas mais densas de sondagem.

O impenetrável mais profundo, entre 18m e 20m, localiza-se na extremidade norte do bairro Sertão do Rio Bonito e no sul do bairro Rio Bonito.

A faixa de impenetrável com profundidade entre 16m e 18m apresenta-se ao sudoeste do perímetro urbano no bairro Lado da União, ao centro-sul entre os bairros Trevo, Coloninha

e São Basílio, ao centro-norte nos bairros Nossa Senhora de Fátima, Uruguaia e Santa Augusta, e ao leste nos bairros Santa Paulina, Rio Bonito e Sertão do Rio Bonito.

As profundidades do impenetrável entre 14m e 16m atingem a porção central com deslocamentos ao leste, ao norte e ao sul, além da porção a sudoeste do perímetro urbano. Já os solos com profundidade até 6m localizam-se nas proximidades do rio Braço do Norte, nos bairros Centro, INSS e Lado da União.

Quantitativamente, a Tabela 4 demonstra que menos que 5% do perímetro urbano de Braço do Norte/SC apresenta profundidade de impenetrável menor que 6m, e, conforme representado pela Figura 54, localiza-se na região centro-oeste nas proximidades do rio Braço do Norte. A maior parte da área de estudo (68,79%) apresenta impenetrável entre 10m e 16m, com uma significativa abrangência na parte central.

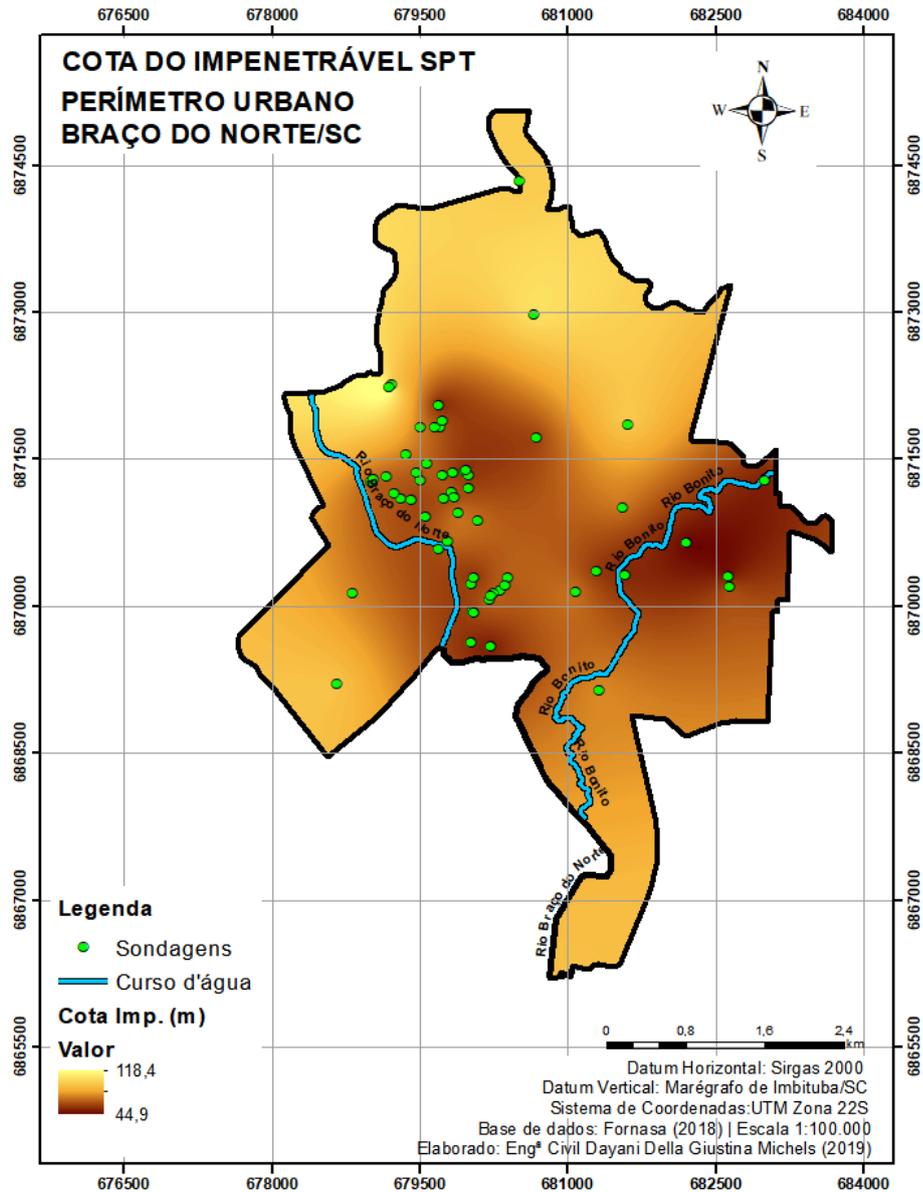
Tabela 4 - Frequência da profundidade impenetrável

<b>Profundida do impenetrável (m)</b>	<b>% de área</b>
<b>&lt; 4</b>	0,04%
<b>4 - 6</b>	4,01%
<b>6 - 8</b>	5,79%
<b>8 - 10</b>	10,73%
<b>10 - 12</b>	22,96%
<b>12 - 14</b>	26,32%
<b>14 - 16</b>	19,51%
<b>16 - 18</b>	9,17%
<b>18 - 20</b>	1,47%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A Figura 55 apresenta as cotas do impenetrável à percussão tendo como referência o marégrafo de Imbituba/SC. Da mesma forma, constatou-se que as porções centro-sul e leste do perímetro urbano possuem as menores cotas de impenetrável.

Figura 55 - Cota do impenetrável à percussão.



### 5.3.3 Cartas de orientação para o tipo de fundação

As cartas de orientação para o tipo de fundação foram desenvolvidas para as profundidades de 1m e 2m, Figura 56 e 57, de modo a considerar apenas as profundidades que possuem viabilidade econômica conforme preconizada por Rebello (2011).

A presença do lençol freático poderá direcionar a tomada de decisão do projetista estrutural na hora da escolha do tipo de fundação, uma vez que, dependendo da posição do nível de água, pode haver uma redução considerável da capacidade de carga da fundação superficial.

Nas fundações superficiais, a carga da estrutura é transmitida ao terreno predominante pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, portanto, deve-se garantir que base de uma fundação se assente a uma profundidade onde o solo de apoio não seja influenciado pelos agentes atmosféricos e fluxos d'água. Dessa forma, foi inserido nas cartas de orientação para o tipo de fundação as profundidades do nível d'água geradas a partir do banco de dados de sondagens SPT e principais cursos d'água, conforme exposto na seção 5.3.1.

As cartas representadas no presente item possuem condições específicas de aplicação, conforme apresentando no item 4.3.3.2.3.

Figura 56 - Orientação para fundação - Prof. = 1m

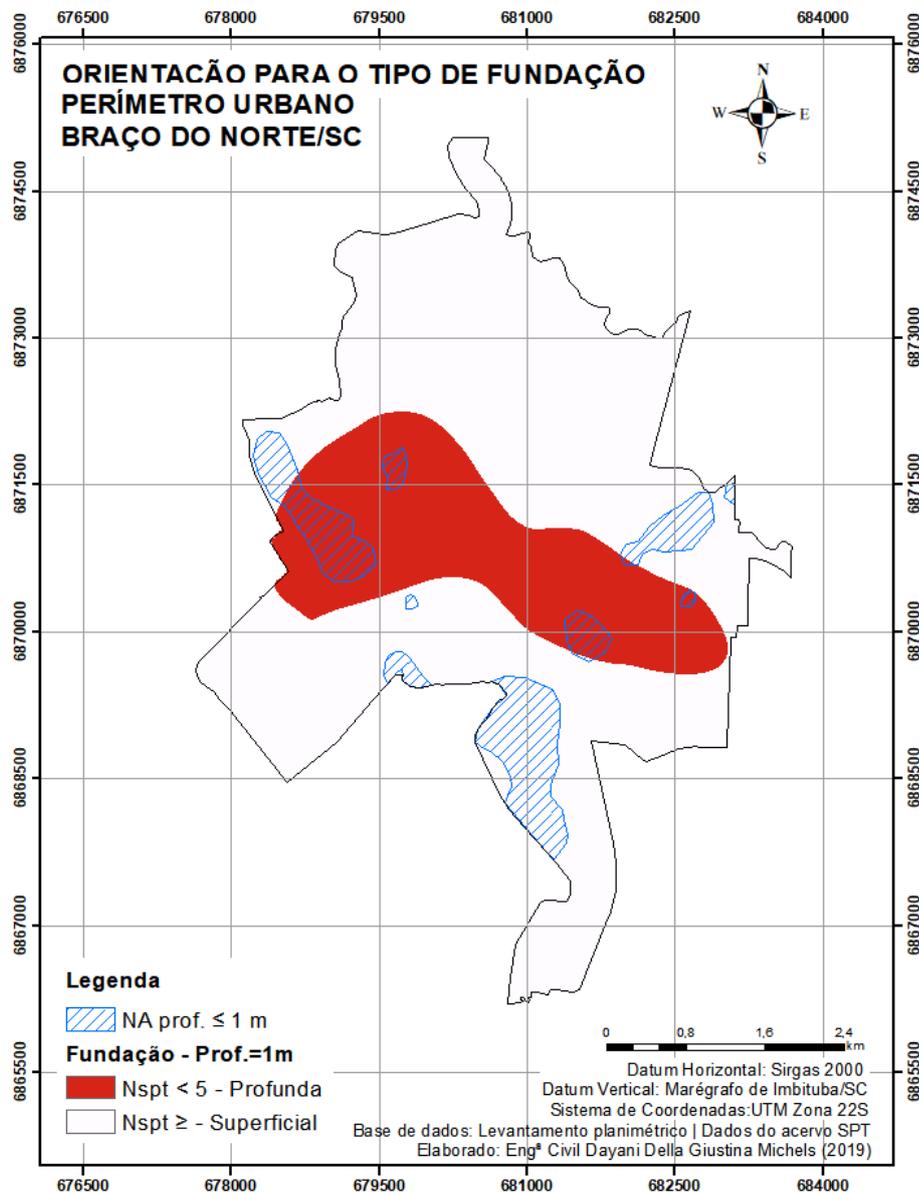
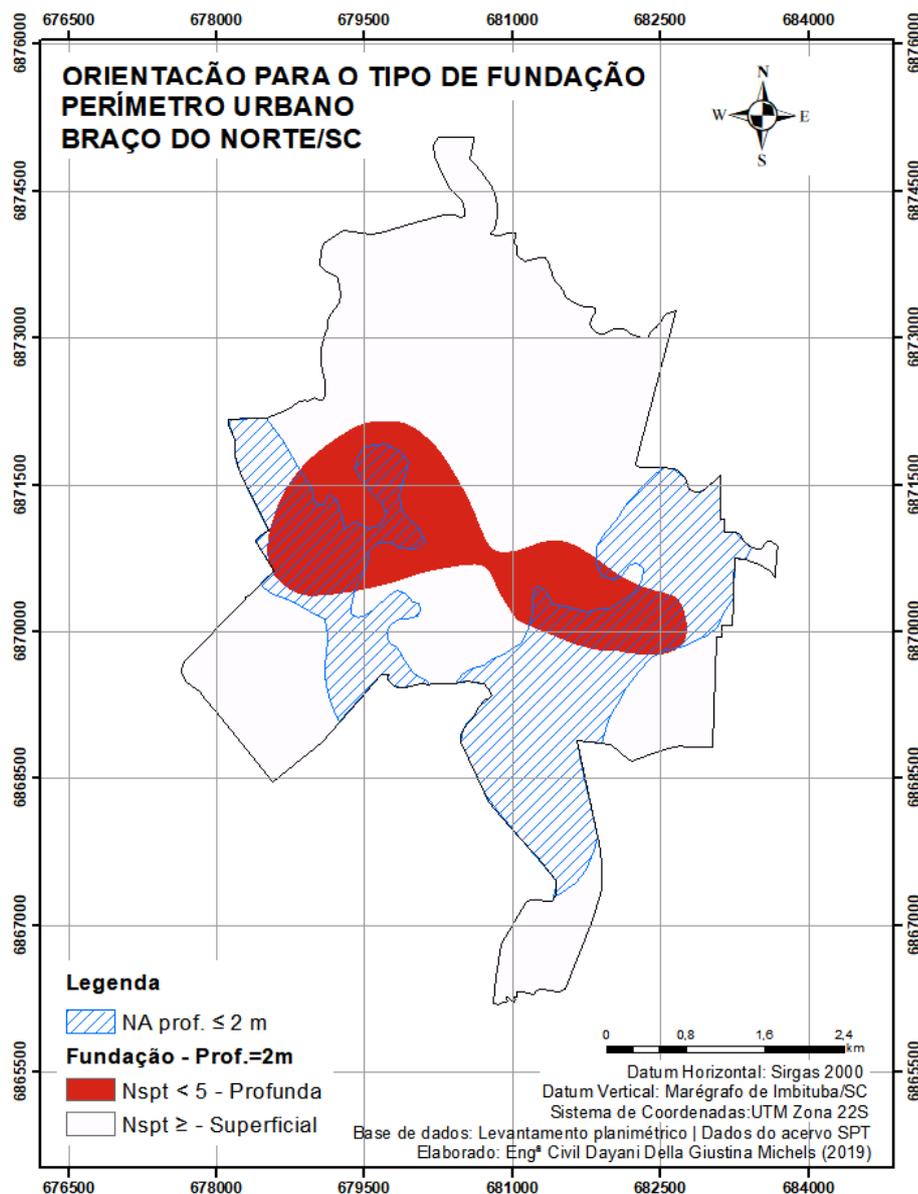


Figura 57 - Orientação para fundação - Prof. = 2m.



A carta de orientação para fundação no primeiro metro de profundidade, Figura 56, apresenta-se com orientação para fundação profunda (cor vermelha) na parte central, leste e oeste da área de estudo atingindo praticamente todos os bairros, com exceção para os bairros São Basílio, São Januário, Santa Luzia e Uruguaiá. Os bairros Centro e INSS apresentam-se com indicação para fundação profunda em quase sua total extensão na profundidade de 1m.

Destaca-se que, para os bairros Vila Nova, Lado da União, Rio Bonito, Bela Vista, São Januário e Santa Luzia há indicação para fundações superficiais, porém com a incidência do

lençol freático. Devido a tal incidência, recomenda-se a máxima atenção nos cálculos e assentamento de fundações superficiais.

Por meio da Tabela 5, é possível extrair que, a 1m de profundidade, 23,94% da área urbana de Braço do Norte/SC foi orientada para fundação profunda, enquanto 76,06% para fundação superficial.

Na interpolação para a carta de orientação para o tipo de fundação na profundidade de 2m, Figura 57, as áreas indicativas para orientação fundação profunda diminuem em extensão quando comparada com a profundidade de 1m.

De maneira oposta às zonas com indicação para orientação profunda, o nível do lençol freático na profundidade de dois metros abrange uma área maior quando comparada ao primeiro metro de profundidade. Quantitativamente, conforme Tabela 5, na profundidade de 2m, 18,44% da área é indicada para fundação profunda e 81,56% para fundação superficial.

A orientação para fundação superficial cresce com o aumento da profundidade, passando de 76,06% na profundidade de 1m para 81,56% na profundidade de 2m. Tal comportamento é previsto, uma vez que, há um aumento de resistência do solo com o avanço da profundidade.

Tabela 5 - Frequência de área para o tipo de fundação

<b>Orientação para o tipo de fundação</b>	<b>% área</b>	
	<b>Profundidade de 1m</b>	<b>Profundidade de 2m</b>
<b>Profunda</b>	23,94%	18,44%
<b>Superficial</b>	76,06%	81,56%
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

As áreas indicadas para fundações profundas localizam-se principalmente nas unidades geotécnicas de substrato sedimentos quaternários, tal característica é esperada, considerando que esses solos são sedimentares e apresentam resistências menores quando comparados com os solos residuais.

Ressalta-se que, de posse do banco de dados gerado no presente trabalho, é possível gerar novos cenários nas mais variadas profundidades e com especificações futuramente adotadas.

### 5.3.4 Cartas de tensão admissível para fundação superficial

As cartas de isovalores de tensão admissíveis do solo foram elaboradas para as profundidades de 1m, 2m, 3m e 4m a partir da Equação 4. Os dois primeiros metros foram modelados devido a viabilidade para execução de fundação superficial, conforme defendido por Rebello (2011), e os dois últimos, a fim de considerar a tensão admissível no bulbo de tensões.

Conforme destacado na seção 4.3.3.2.3, utilizou-se a Equação 4 de Hachich et al. (1998) para a determinação da tensão admissível para fundação superficial. Devido à restrição da equação 4, zonas onde a  $\sigma_a < 100\text{kN/m}^2$ , ou seja,  $N_{\text{SPT}} < 5$ , são áreas fora do domínio de aplicação da equação supracitada e por isso não tem validade nos mapas apresentados. Valores de  $N_{\text{SPT}} > 20$ , limite superior da equação, por segurança, foram considerados na faixa de tensão mais elevada,  $350\text{kN/m}^2 < \sigma_a \leq 400\text{kN/m}^2$ .

Para o desenvolvimento das tensões no bulbo de tensão foi aplicado as metodologias dos trabalhos de Santos (2016) e Thiesen (2016), as quais preconizam o aumento da flexibilidade na utilização das cartas, uma vez que a tensão admissível no bulbo de tensão foi calculada a partir dos valores obtidos no  $N_{\text{SPT}}$  e não pela média destes.

Ao analisar a tensão admissível do solo na profundidade de 1m, Figura 58, é possível observar maiores tensões admissíveis a leste do perímetro urbano, nos bairros Rio Bonito e Uruguaia. Já as menores tensões localizam-se na parte central, nas zonas centro-oeste se estendendo para a zona centro-leste. Quantitativamente, por meio da Tabela 6, observa-se que 96,35% da área apresenta tensão admissível menor que  $220\text{kN/m}^2$ , sendo a maior representatividade a faixa de tensão admissível entre  $160\text{kN/m}^2$  e  $180\text{kN/m}^2$ , abrangendo 32,64% da área total.

Na profundidade de 2m, Figura 59, as tensões menores que  $100\text{kN/m}^2$  apresentam-se em decréscimo, quando comparadas à Figura 58. As maiores tensões aos 2m de profundidade localizam-se na zona sudoeste e nordeste. Conforme Tabela 6, as tensões atingidas intercalam-se entre  $140\text{kN/m}^2$  e  $240\text{kN/m}^2$ , apresentando a maior representatividade no intervalo de  $160\text{kN/m}^2$  e  $180\text{kN/m}^2$ , com 32,64% da área de estudo.

Por meio da Figura 60, isovalores de tensão admissível na profundidade de 3m, observa-se um aumento das áreas com tonalidade mais escuras na região sudoeste no bairro Lado da União. As tonalidades de verde apresentam em diminuição na parte central do perímetro urbano, dando espaço para as cores em tonalidades de amarelo. O intervalo de tensão

admissível entre 180kN/m<sup>2</sup> e 220kN/m<sup>2</sup> atinge mais de 50% da área na referida profundidade, conforme exposto na Tabela 6.

Na profundidade de 4m, Figura 61, observa-se um aumento das tensões do solo no perímetro urbano de Braço do Norte, passando das cores de tonalidades verdes e amarelas para a coloração rosa. As áreas com solos de maiores tensões admissíveis permanecem localizadas na região sudoeste e atingem duas novas áreas, zona oeste e zona nordeste.

Figura 58 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 1m.

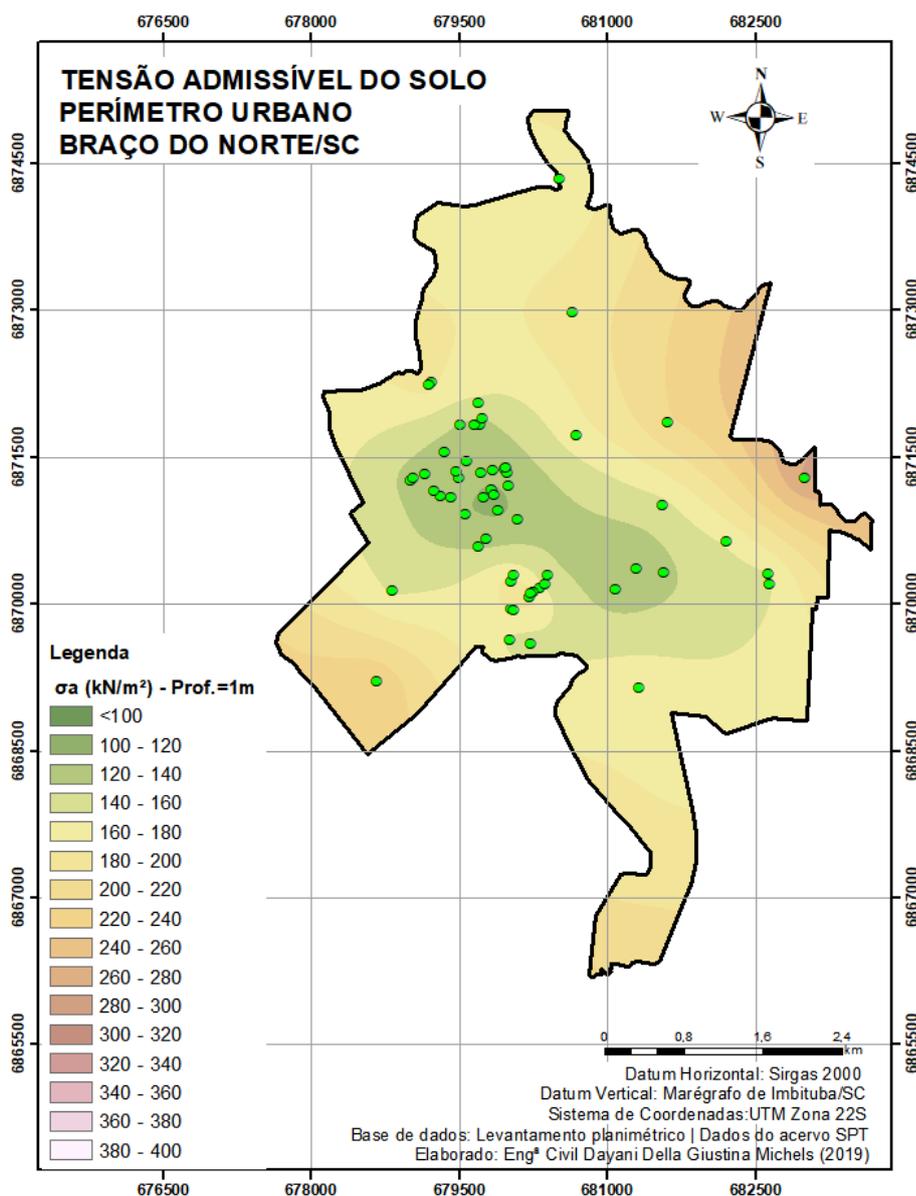


Figura 59 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 2m.

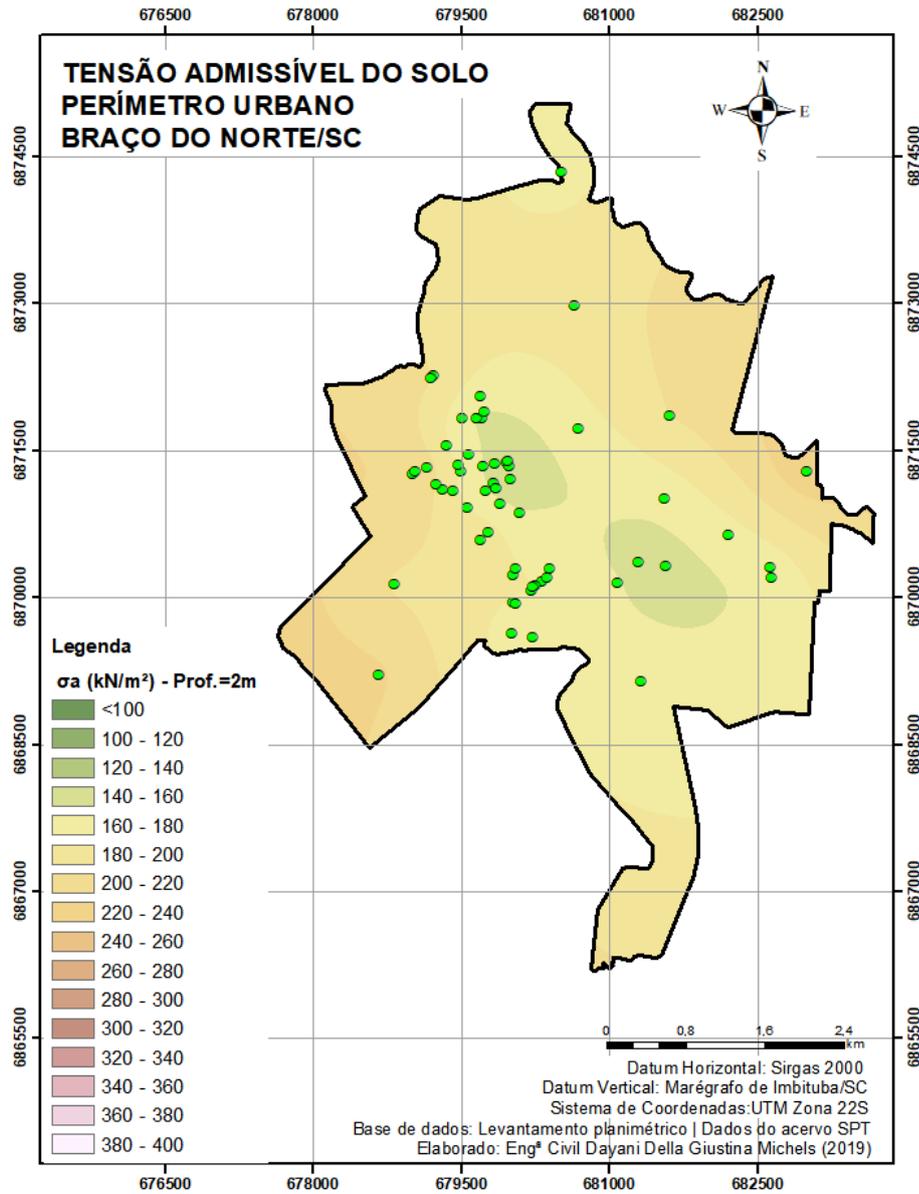


Figura 60 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 3m.

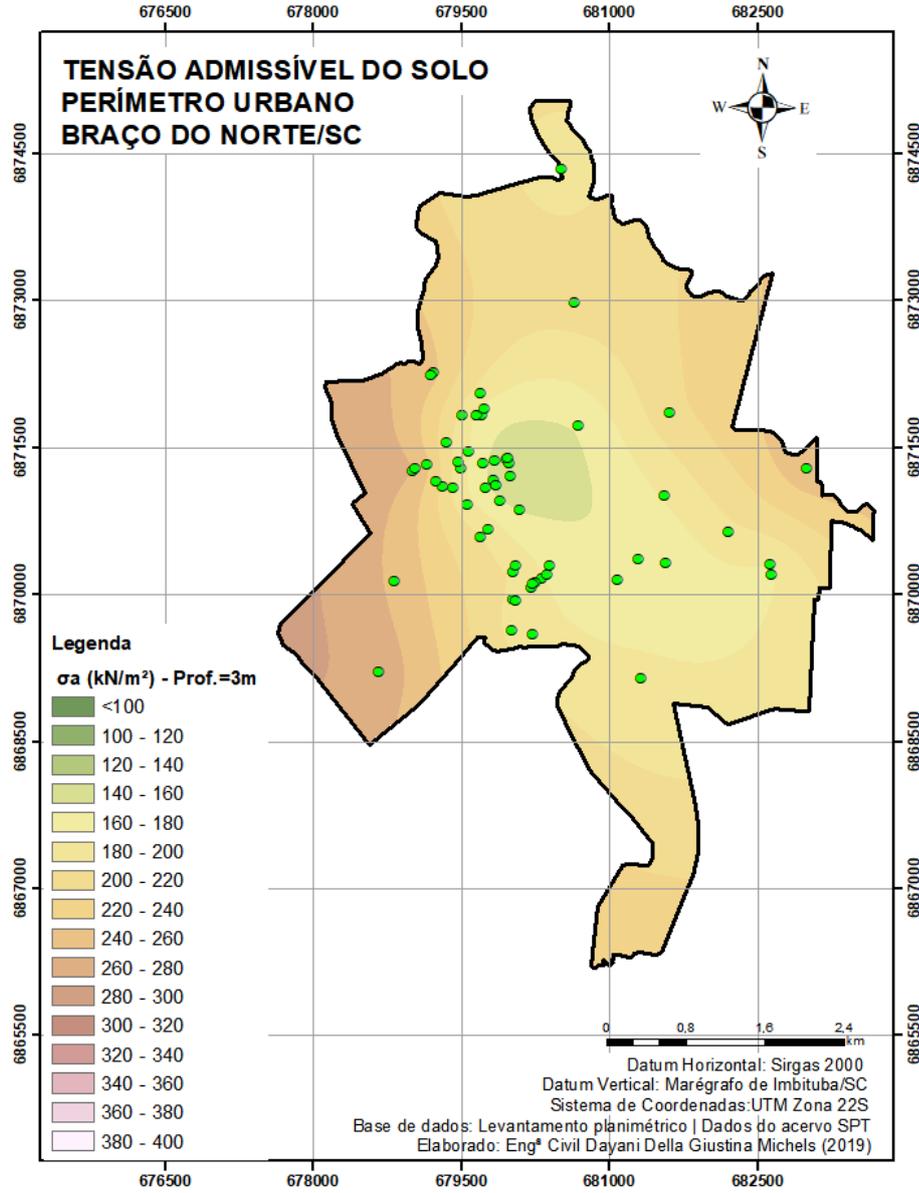
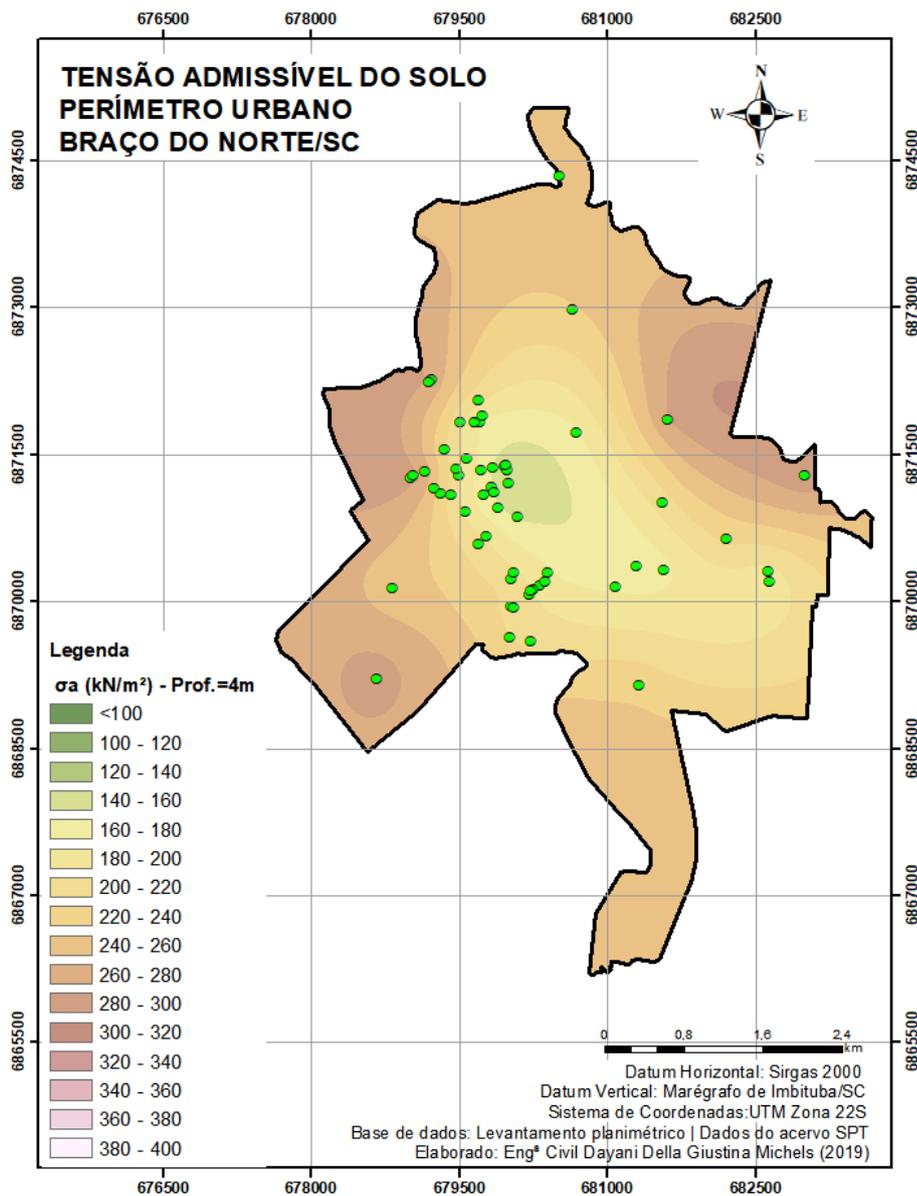


Figura 61 - Isovalores de tensão admissível – Prof.= 4m.



Ao analisar-se a Tabela 6, porcentagem da área para as faixas de tensão admissível, observa-se um aumento faixa de tensão com o aumento da profundidade.

Tabela 6 - Porcentagem da área para as faixas de tensão admissível

Tensão admissível $\sigma_a$ (kN/m <sup>2</sup> )	% área			
	Profundidade de 1m	Profundidade de 2m	Profundidade de 3m	Profundidade de 4m
< 100	0,04%	-	-	-
100 - 120	0,37%	-	-	-
120 - 140	10,84%	-	-	-
140 - 160	17,88%	6,73%	3,84%	2,33%
160 - 180	32,64%	42,47%	16,78%	7,17%
180 - 200	16,62%	27,15%	23,01%	10,83%
200 - 220	10,46%	19,55%	27,87%	13,05%
220 - 240	7,50%	4,10%	12,39%	12,88%
240 - 260	3,06%	-	6,25%	27,67%
260 - 280	0,45%	-	9,86%	15,86%
280 - 300	0,14%	-	-	9,88%
300 - 320	-	-	-	0,33%
320 - 340	-	-	-	-
340 - 360	-	-	-	-
360 - 380	-	-	-	-
380 - 400	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

### 5.3.5 Cartas de comprimento máximo estimado das estacas

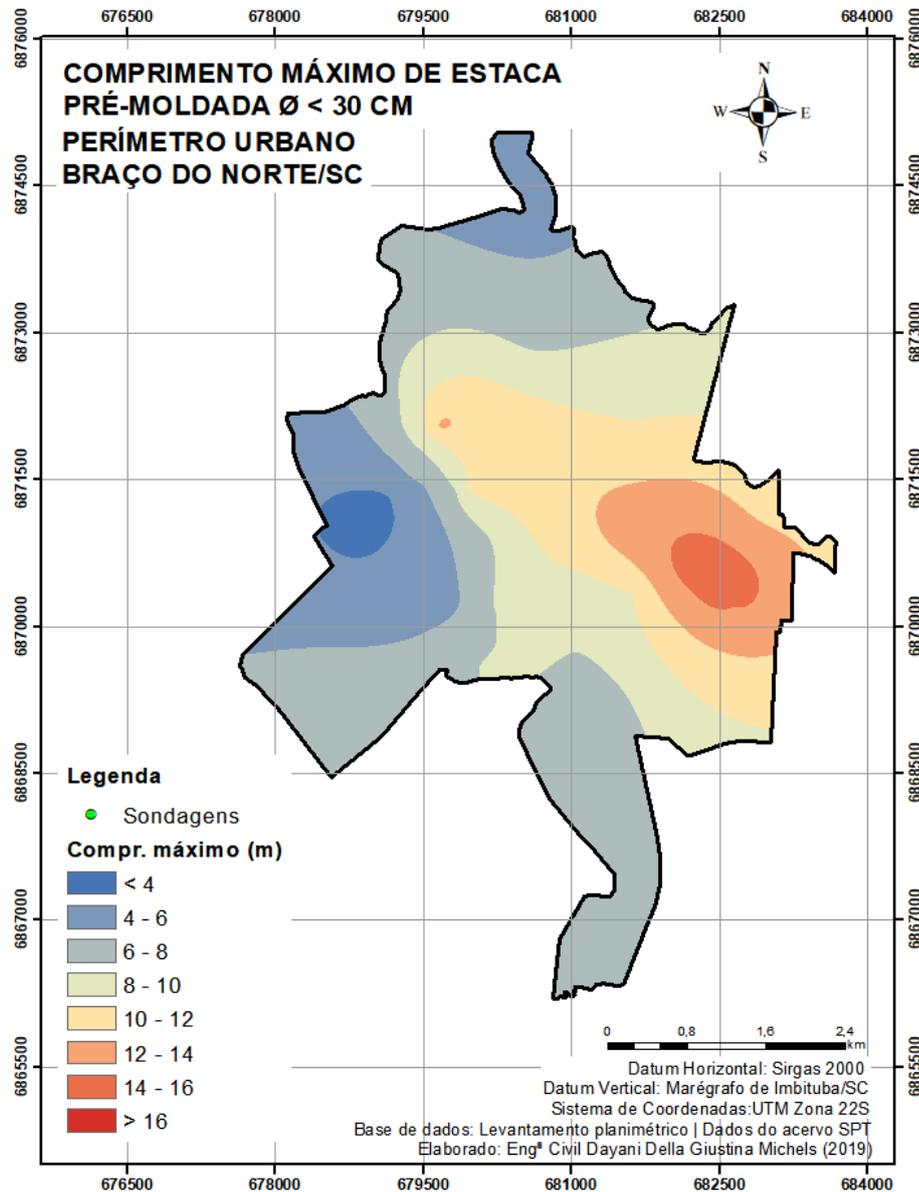
Para a elaboração das cartas de comprimento máximo das estacas, utilizou-se da metodologia exposta no item 4.3.3.2.5, bem como tipos mais executados de fundação profunda no perímetro urbano de Braço do Norte/SC: estacas pré-moldadas, hélice contínua e strauss. Para o desenvolvimento das cartas, adotou-se como algoritmo a profundidade em que se encontrou o  $N_{SPT}$  mediano em termo de paralização das estacas, apresentado no Quadro 7.

As cores em tons de azul apresentam as indicações para comprimentos estimados menores enquanto as cores com tonalidades alaranjadas. Os bairros que apresentam a condição impenetrável à percussão mais profunda, como os bairros Nossa Senhora de Fátima, Uruguaia, Trevo, Coloninha São Basílio, Santa Paulina e Rio Bonito, também apresentam maior previsão de comprimento máximo da estaca nos quatro cenários apresentados. A região do extremo norte e oeste demonstrou ser uma área com previsão de menor comprimento estimado de estaca.

Para as estacas pré-moldadas com diâmetro menor que 30cm, Figura 62, as zonas com estimativas de comprimentos menores que 8m são observados ao oeste, extremo norte e sul da

área urbana. Já as estacas com comprimentos maiores, acima de 8m, localizam-se na parte central tendendo ao leste.

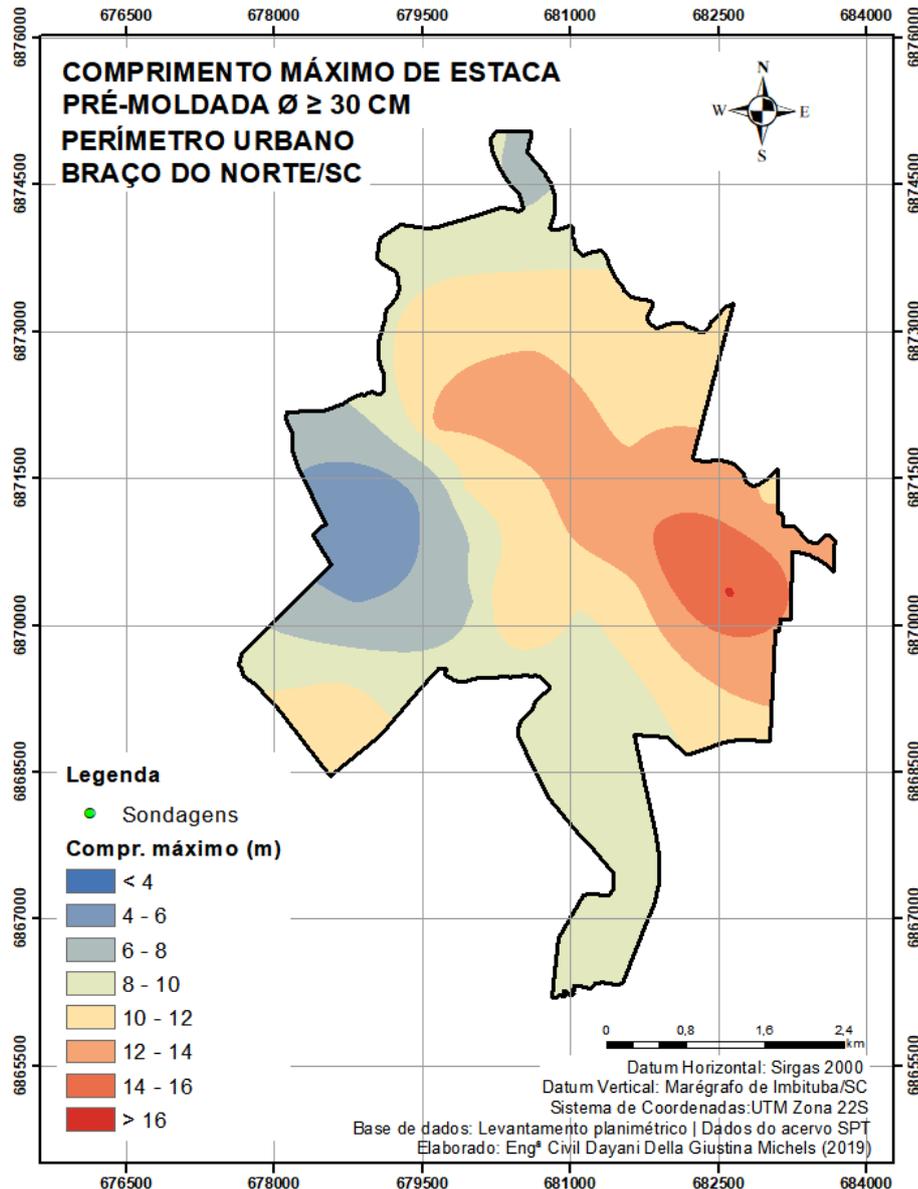
Figura 62 - Comprimento máximo estimado para estaca pré-moldada ( $\varnothing < 30\text{cm}$ ).



As zonas com comprimento máximo estimado para as estacas pré-moldadas com  $\varnothing \geq 30\text{cm}$ , Figura 63, apresenta-se uma redução de área quando comparada à Figura 62. Os maiores comprimentos estimados das estacas pré-moldadas com  $\varnothing \geq 30\text{cm}$  estão localizados na área central do perímetro urbano de Braço do Norte/SC, direcionando-se para as zonas oeste e sul, no Lado da União.

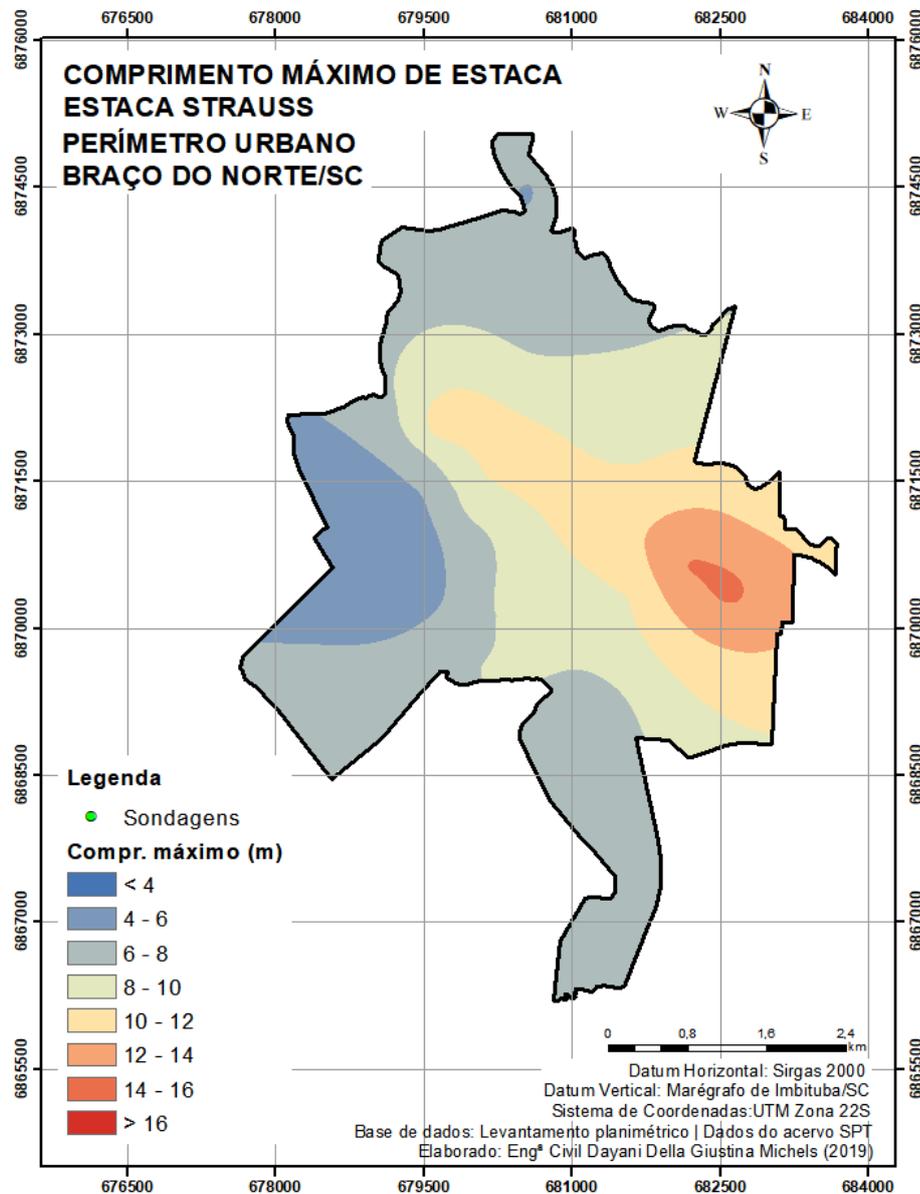
De maneira quantitativa, observa-se que na Tabela 7 as estacas pré-moldadas com  $\varnothing < 30\text{cm}$  tem sua média de comprimento estimado variando entre 6m e 8m, enquanto as estacas pré-moldadas com  $\varnothing \geq 30\text{cm}$  apresenta o comprimento médio estimado entre 10m e 12m.

Figura 63 - Comprimento máximo estimado para estaca pré-moldada ( $\varnothing \geq 30\text{cm}$ ).



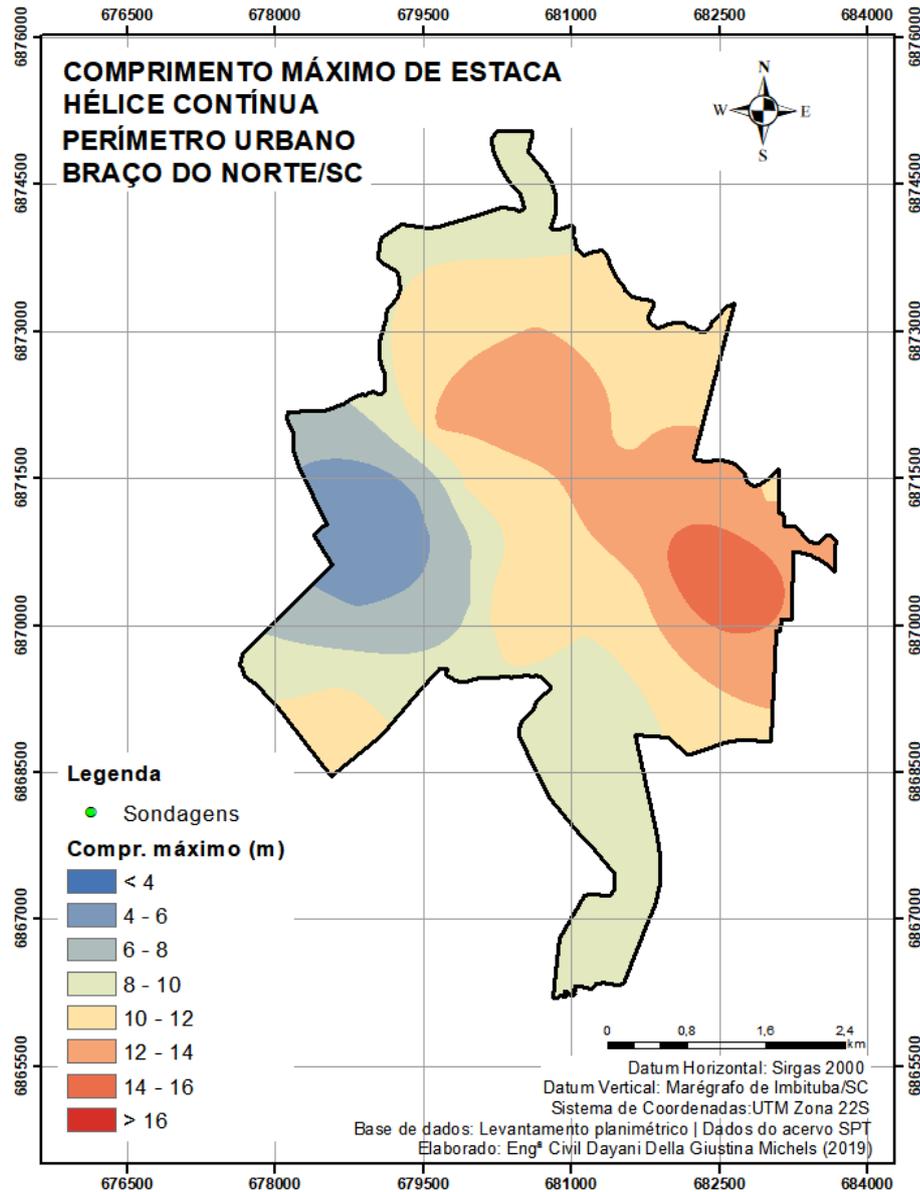
O comprimento das estacas do tipo strauss, Figura 64, apresenta comportamento semelhante as estacas pré-moldadas  $\varnothing < 30$ , porém com comprimento estimado entre 4m e 16m, não apresentando previsão de estacas com comprimentos menores que 4m. Assim como as estacas pré-moldadas com  $\varnothing \geq 30\text{cm}$ , o intervalo de comprimento que apresenta maior representatividade em termos de área (38,97%) é o intervalo entre 6m e 8m.

Figura 64 - Comprimento máximo estimado para estaca strauss.



A carta com comprimento máximo das estacas do tipo hélice contínua, Figura 65, assemelha-se com a carta de comprimento máximo estimado para as estacas pré-moldadas com  $\varnothing \geq 30\text{cm}$ , uma vez que apresentam menor comprimento a oeste e maior a leste. Para o comprimento máximo das estacas do tipo hélice contínua, 33,82% da área apresenta previsão de comprimento entre 10m e 12m. Do mesmo modo das estacas do tipo strauss, as estacas de hélice contínua não apresentam previsões de comprimentos menores que 4m nem maiores que 16m.

Figura 65 - Comprimento máximo estimado para estaca hélice contínua.



Ao analisar a frequência de área para os comprimentos máximos das estacas, Tabela 7, observa-se que, em termos quantitativos, as frequências de área para os comprimentos das estacas pré-moldadas de  $\varnothing < 30\text{cm}$  e strauss assemelham-se, apresentando mais áreas com previsão de estacas entre 6m e 12m de comprimento. Já as estacas do tipo pré-moldada com  $\varnothing \geq 30\text{cm}$  e hélice contínua apresentam uma maior previsão de estacas com comprimentos entre 8m e 12m. As semelhanças acontecem devido o  $N_{SPT}$  definido como critério de parada de estaca serem equivalentes.

Tabela 7- Frequência de área para os comprimentos máximos das estacas

Comprimento máximo da estaca (m)	% área			
	Pré-moldada ( $\varnothing < 30\text{cm}$ )	Pré-moldada ( $\varnothing \geq 30\text{cm}$ )	Strauss	Hélice contínua
< 4	1,82%	-	-	-
4 - 6	13,14%	5,35%	11,05%	6,20%
6 - 8	34,66%	10,33%	38,97%	8,50%
8 - 10	19,12%	23,82%	26,26%	27,12%
10 - 12	17,00%	31,24%	16,66%	33,82%
12 - 14	12,03%	23,97%	6,42%	20,29%
14 - 16	1,59%	5,27%	0,64%	4,06%
> 16	0,64%	0,03%	-	-
<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

As áreas que estimam menores comprimentos de estacas são as mesmas que apresentam solos menos profundos e menores profundidades do impenetrável, localizadas nas unidades geotécnicas de solos Podzólicos Vermelho-Amarelo, com substrato sedimentos quaternários, substrato granitóide e substrato arenito.

### 5.3.6 Cartas de isovalores de $N_{SPT}$

Foram desenvolvidas cartas de isovalores de  $N_{SPT}$  para o intervalo entre 1m e 25m de profundidade, sendo aos 25m a camada em que, conforme conjunto de dados analisados, o impenetrável à percussão foi atingindo. De modo a reduzir a quantidade de cartas que não apresentam expressivas diferenças de isovalores, serão expostas as cartas a cada dois metros de profundidade.

Por meio da Figura 66, isovalores de  $N_{SPT}$  para profundidade de 1m, é possível observar a predominância da coloração verde clara que representam as faixas de valores de  $N_{SPT}$  entre 5 e 10. Com o aumento da profundidade, a partir da Figura 67, há um aumento de valores de  $N_{SPT}$  da região oeste para leste e do norte para o sul, até atingir a região central da área urbana, a qual possui isovalores  $N_{SPT}$  entre 5 e 10.

Figura 66 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 1m de profundidade.

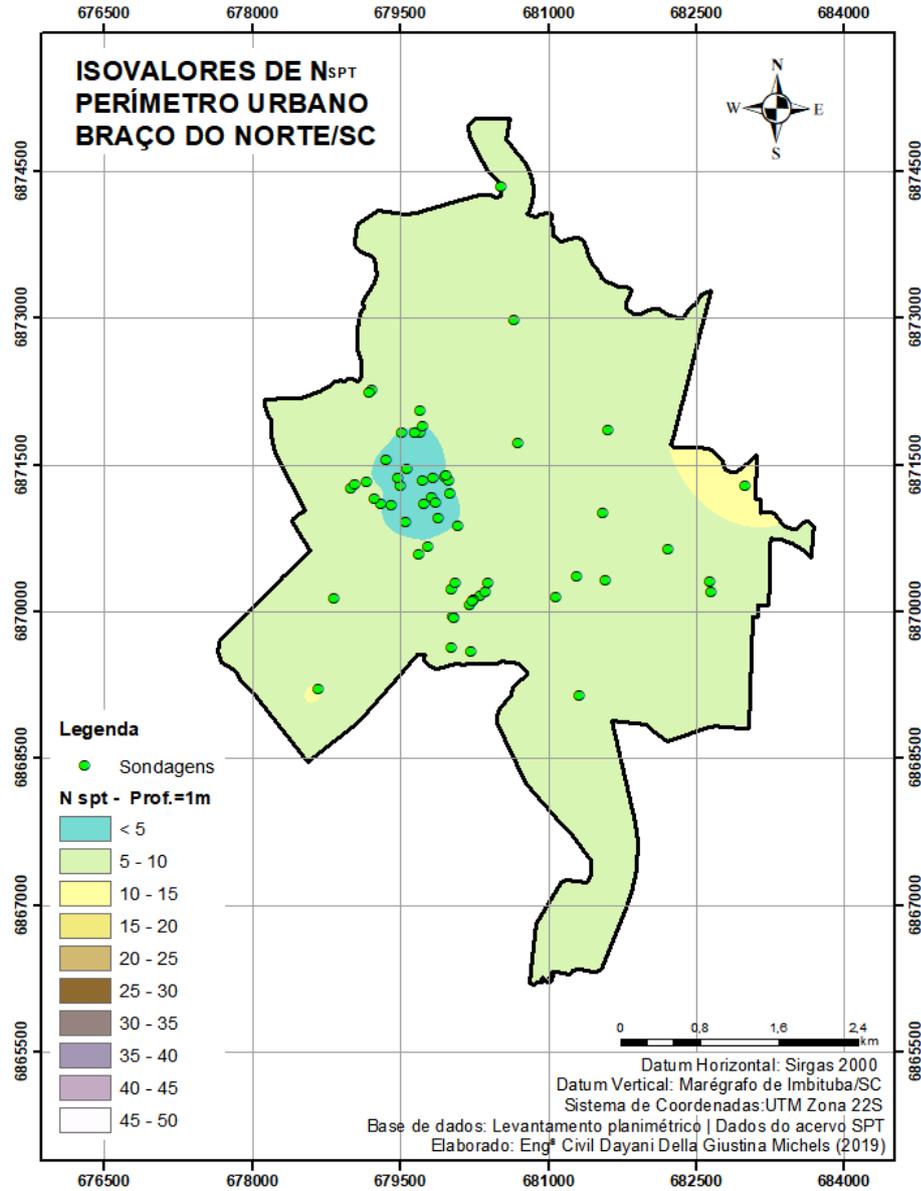


Figura 67 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 3m de profundidade.

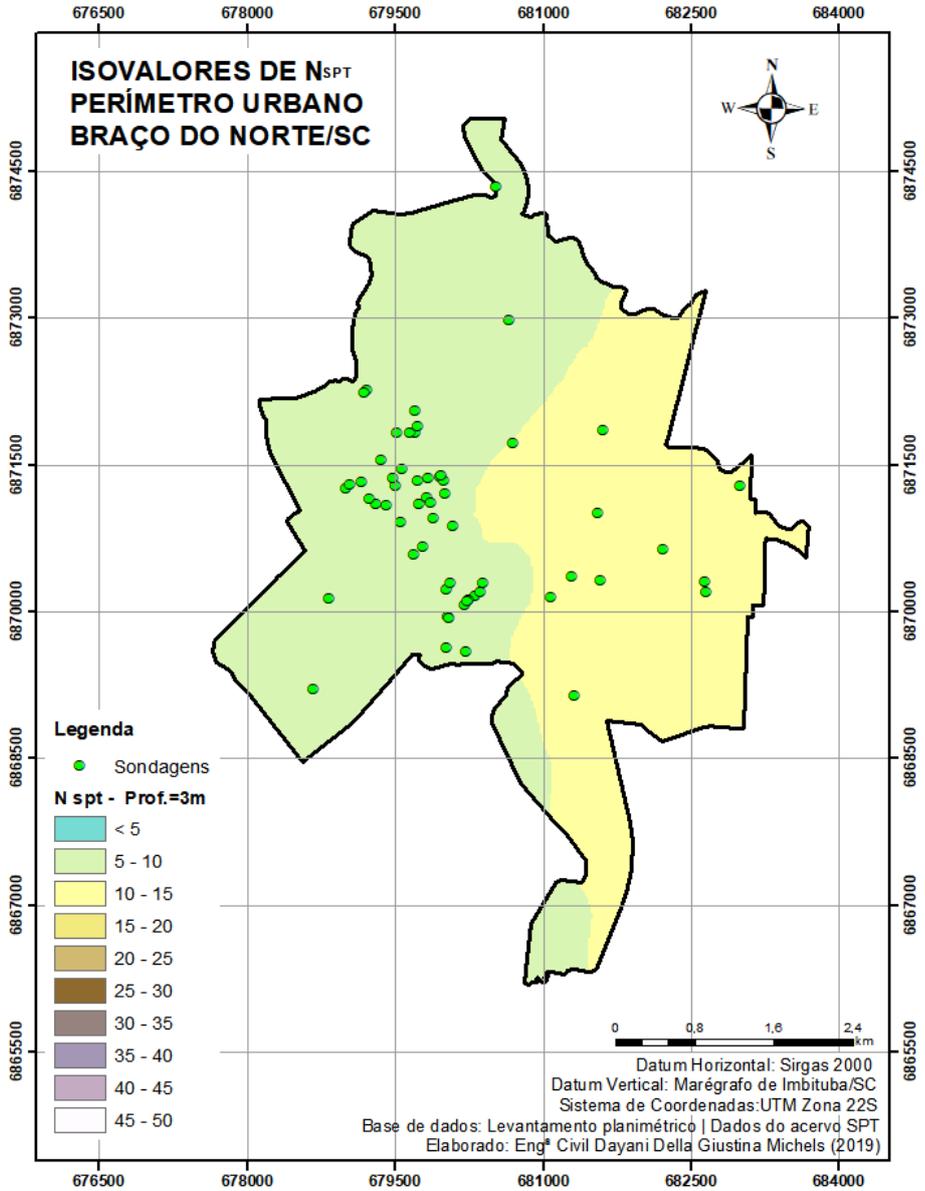


Figura 68 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 5m de profundidade.

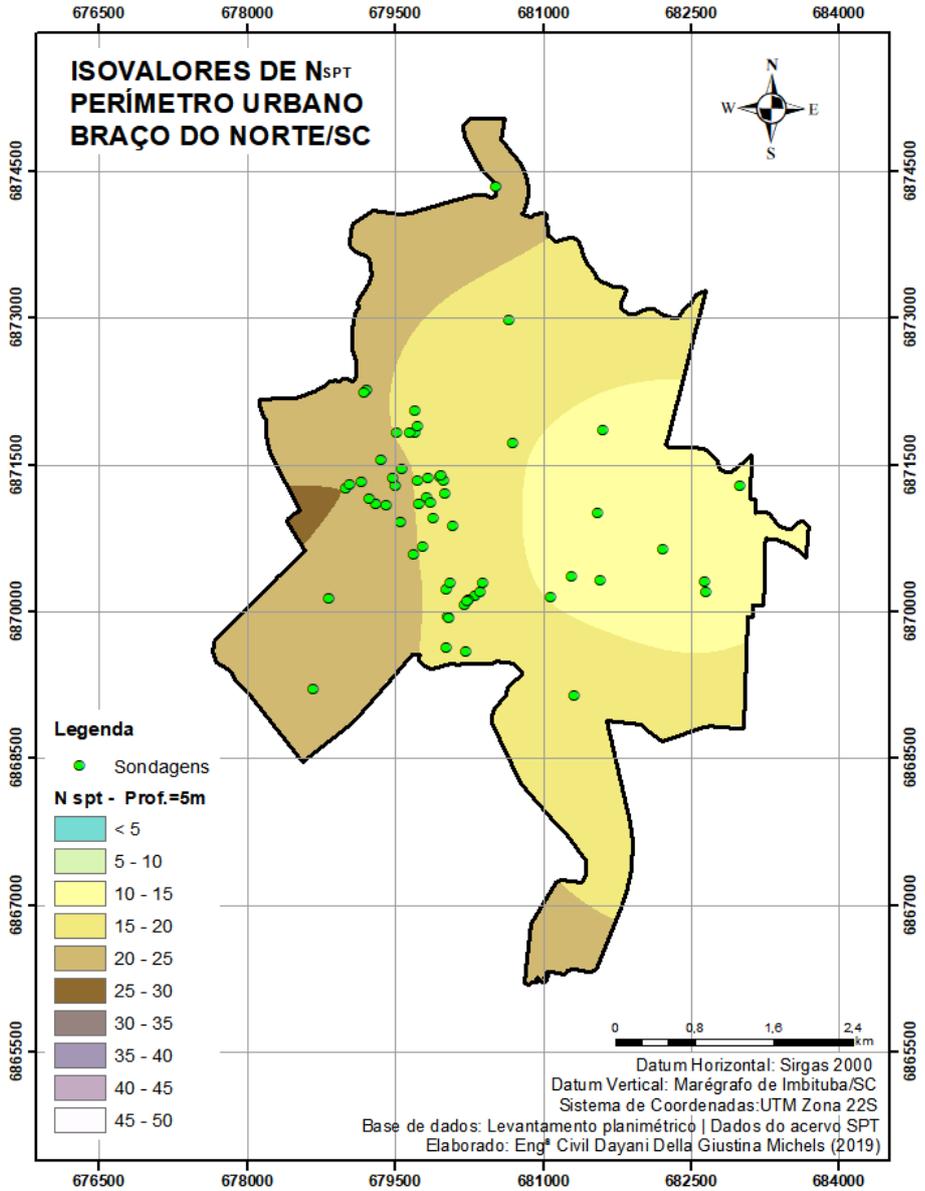
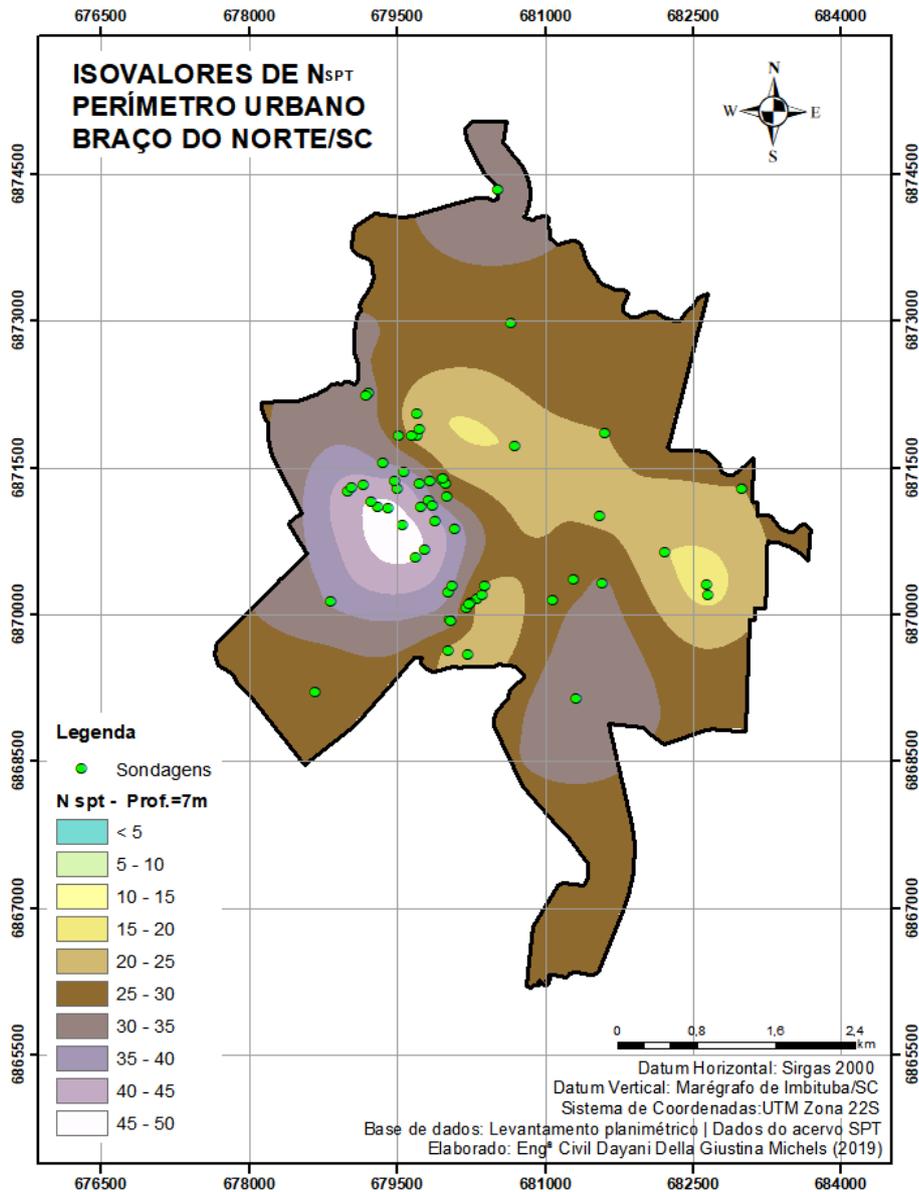


Figura 69 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 7m de profundidade.



Na carta na profundidade de 1m, 3m 5m, observa-se um ganho de resistência do solo em termos de  $N_{SPT}$  com o avanço da profundidade, o qual volta a diminuir na profundidade de 7m. O bairro Lado da União é a primeira região a atingir resistência entre 25 e 30 golpes de SPT.

Ao analisar as cartas da Figura 69, 70 e 71, profundidades de 7m, 9m e 11m, é possível perceber que os solos ganham resistência da porção oeste para a leste. As primeiras camadas de solo resistente ao impenetrável atingem a porção centro-oeste do perímetro urbano na profundidade de 7m. Ressalta-se que, entre as profundidades de 7m e 9m, é possível observar

a mudança de tonalidade das cartas devido ao aumento da resistência, passando da tonalidade amarela para roxa e, posteriormente, para branca.

Figura 70 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 9m de profundidade.

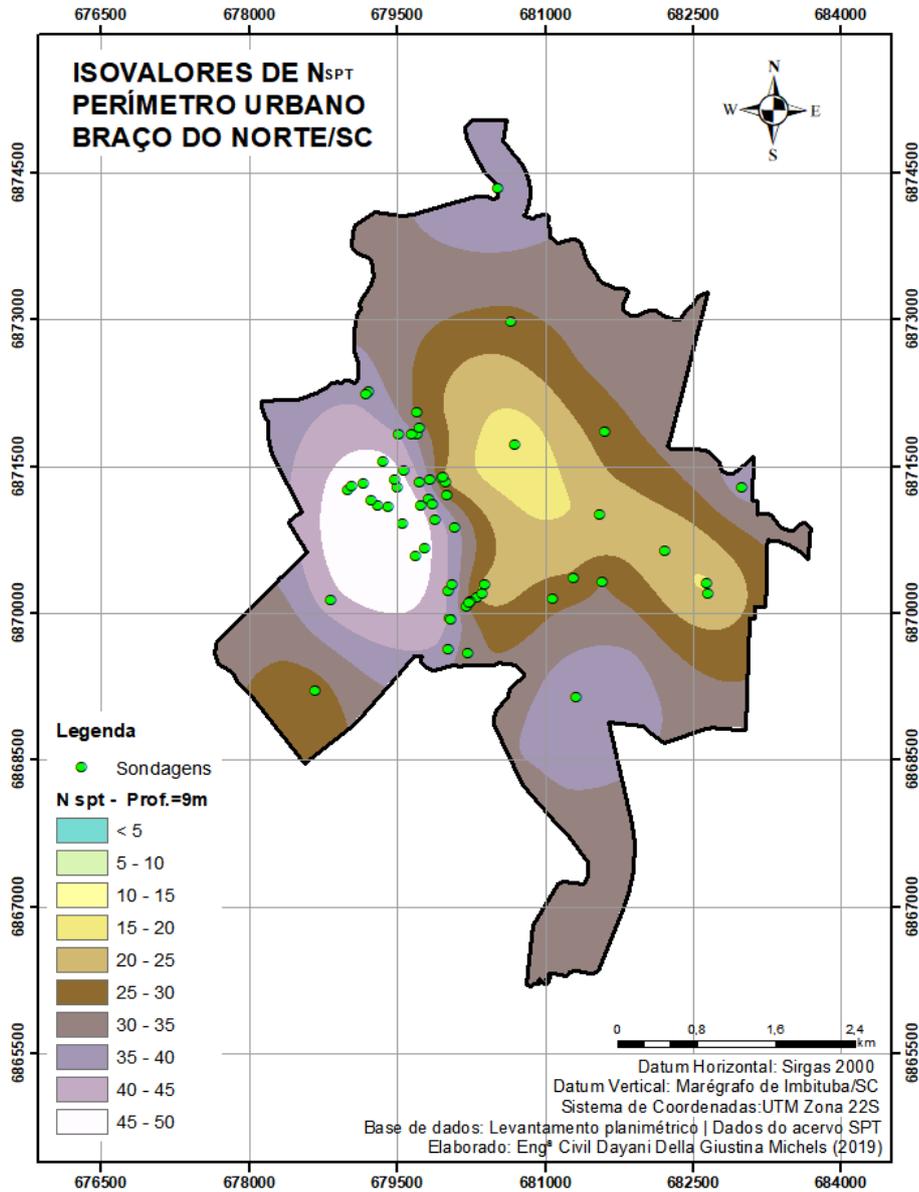
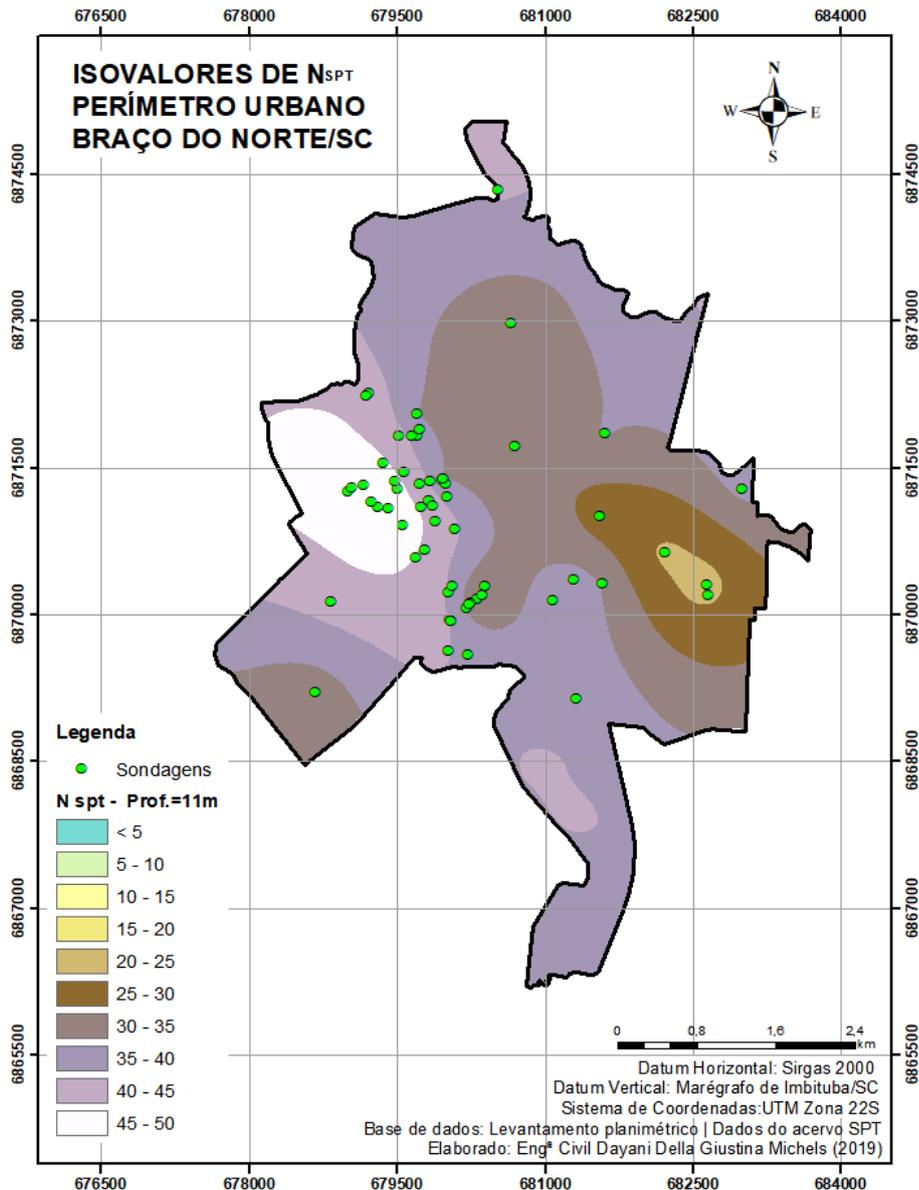


Figura 71 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. =11m de profundidade.



Conforme a Tabela 8, os intervalos de classes de  $N_{SPT}$  mais representativos são de 25 e 30 (marrom) na profundidade de 7m, 30 e 35 na profundidade (roxo escuro) de 9m e 35 e 40 (roxo claro) na profundidade de 11 metros, onde alcançam 48%, 48,4% e 39,8% da área de estudo, respectivamente.

Nas profundidades de 13m e 15m, Figuras 72 e 73, as zonas que representam os valores de  $N_{SPT}$  entre 45 e 50 (cor branca) ganham área atingindo todo o entorno do Rio Braço do Norte. Comparando-se com profundidades menores, os solos ganham expressiva resistência nas camadas em análise, passando a evidenciar-se os solos com  $N_{SPT}$  maiores que 40 (cor lilás e branca), atingindo 65,0% e 79,2% da área, respectivamente.

Os bairros Rio Bonito e Sertão do Rio Bonito são os últimos bairros a apresentarem solos com as maiores resistências em termos de  $N_{SPT}$ . Quantitativamente, conforme Tabela 7, na profundidade de 13m, 1,6% da área apresenta solos entre 20 e 25 golpes (coloração marrom claro), já na profundidade de 15m, apenas 0,2% da área é representada pelo mesmo intervalo.

Figura 72 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 13m de profundidade.

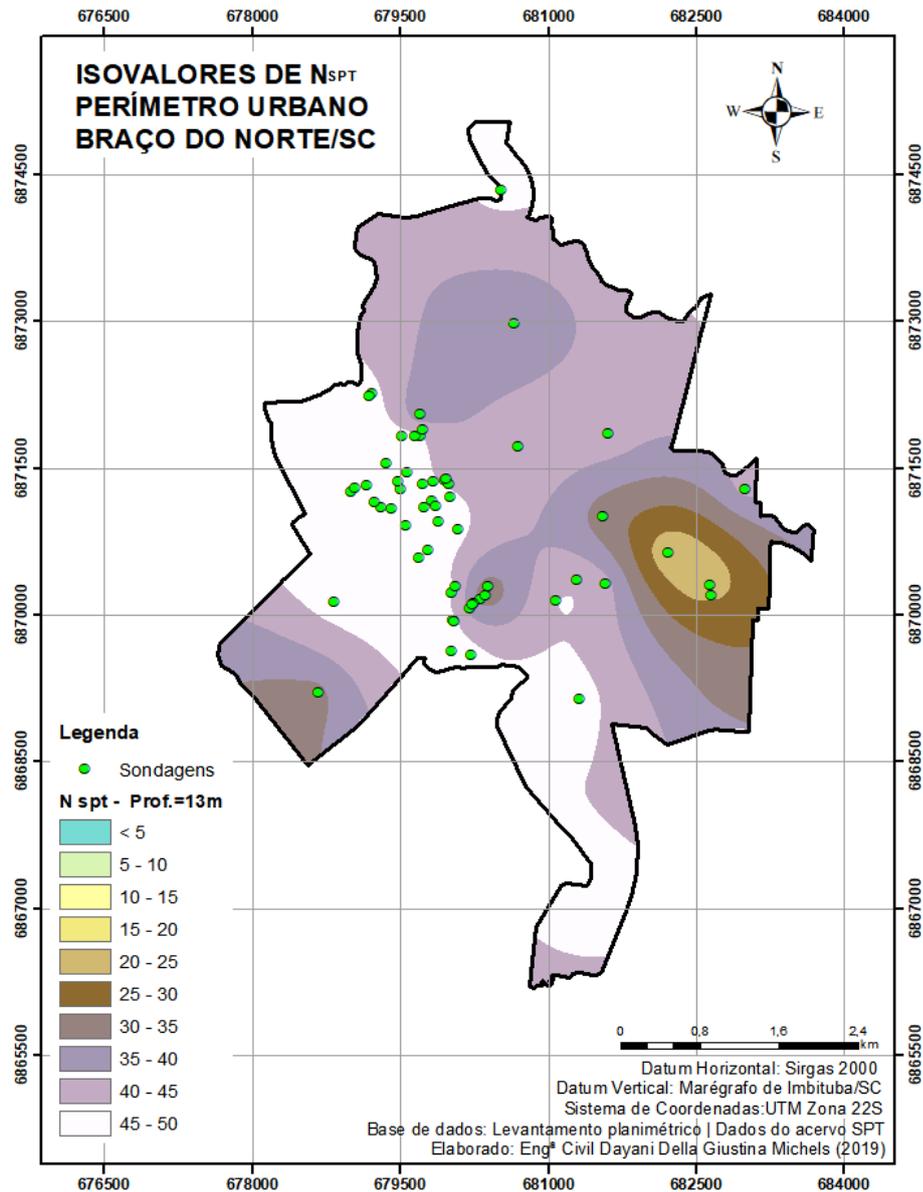
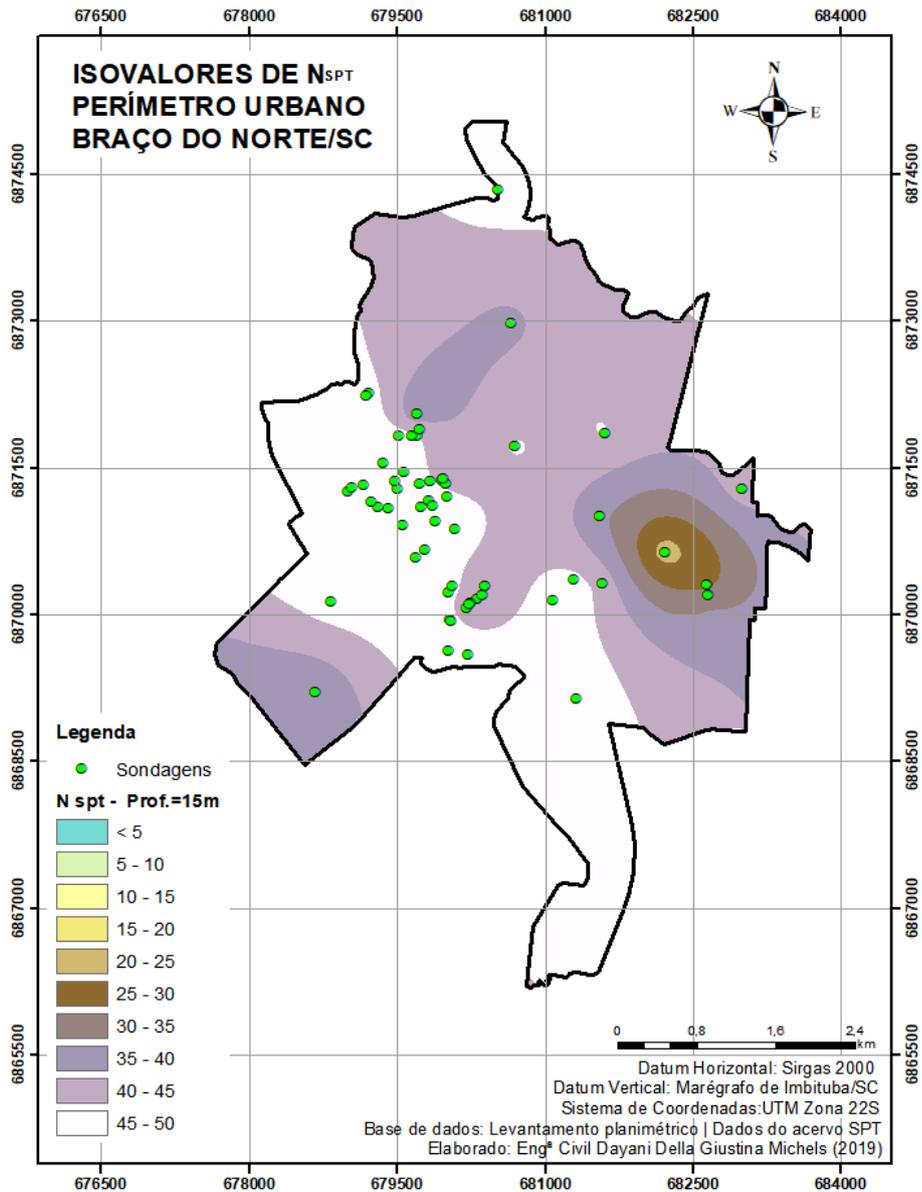


Figura 73 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 15m de profundidade.



Analisando as profundidades de 17m, 19m, 21m, 23m e 25m, observa-se que o número de valores de  $N_{SPT}$  entre 45 e 50 golpes (cor branca) tende a ganhar área até atingir 100% da área na profundidade de 25m. Por contraste visual é possível perceber que os últimos bairros a apresentarem uma melhoria na resistência do solo, em termo de  $N_{SPT}$ , são: Rio Bonito, Sertão do Rio Bonito, Uruguaia e Nossa Senhora de Fátima.

Figura 74 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 17m de profundidade.

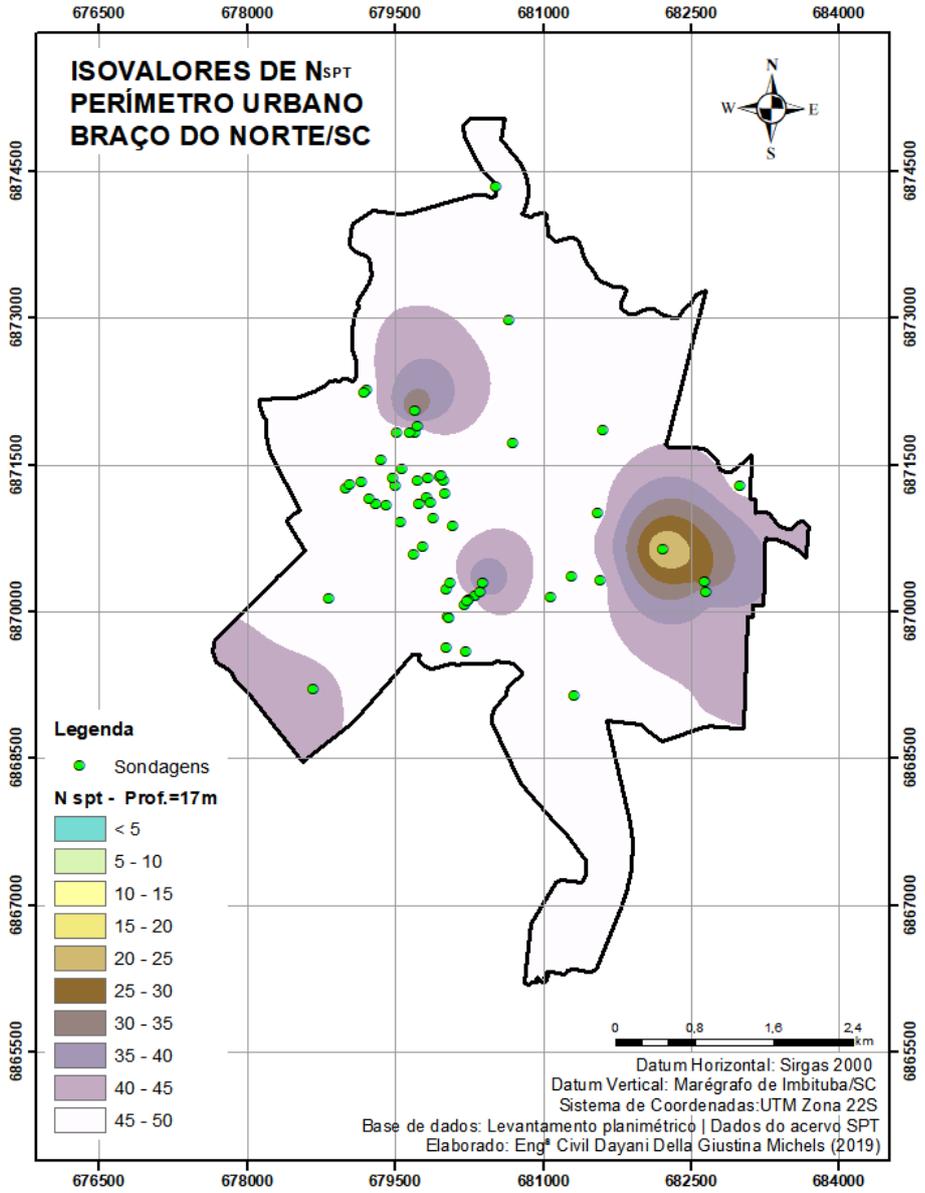


Figura 75 - Figura 74 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 19m de de profundidade.

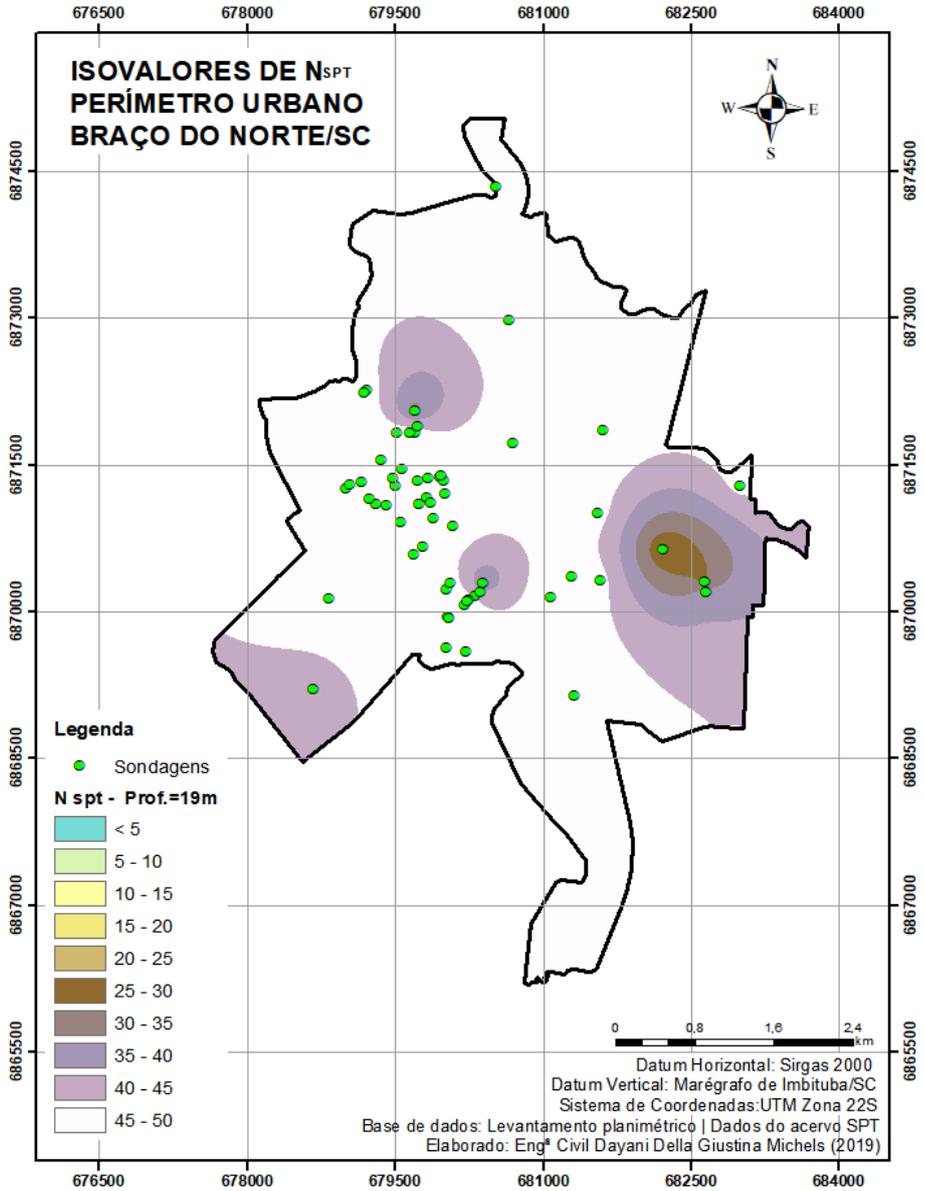


Figura 76 - Figura 74 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 21m de de profundidade.

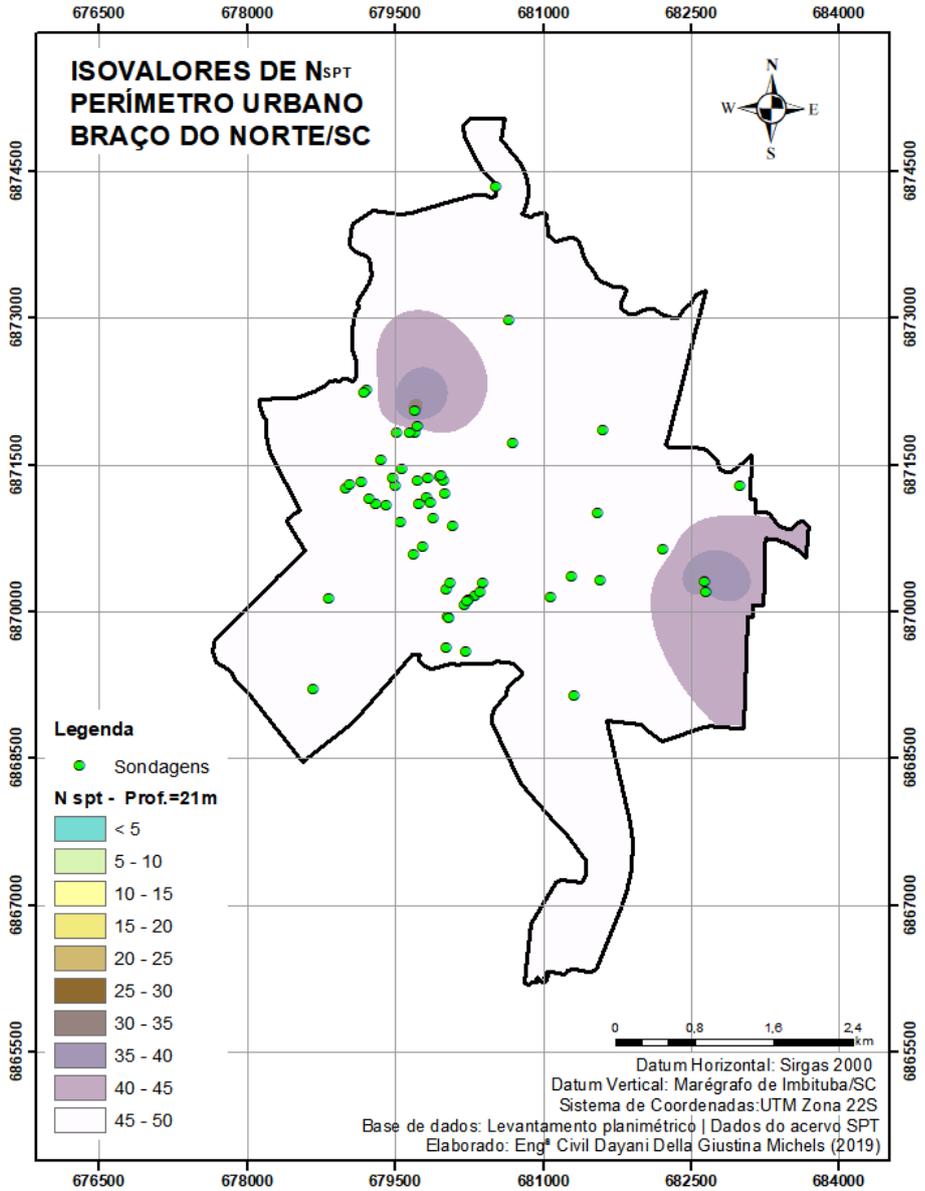


Figura 77 - Figura 74 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 23m de profundidade.

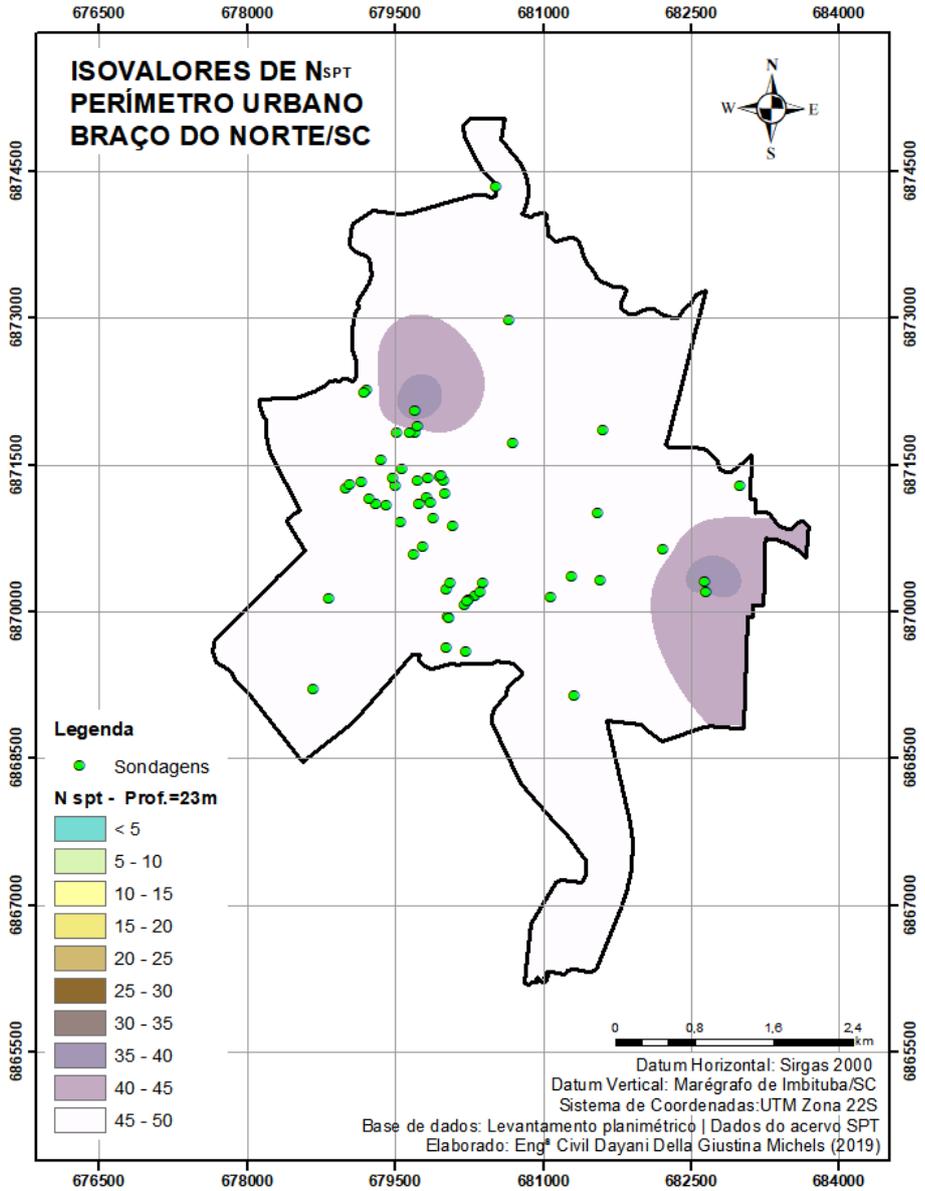
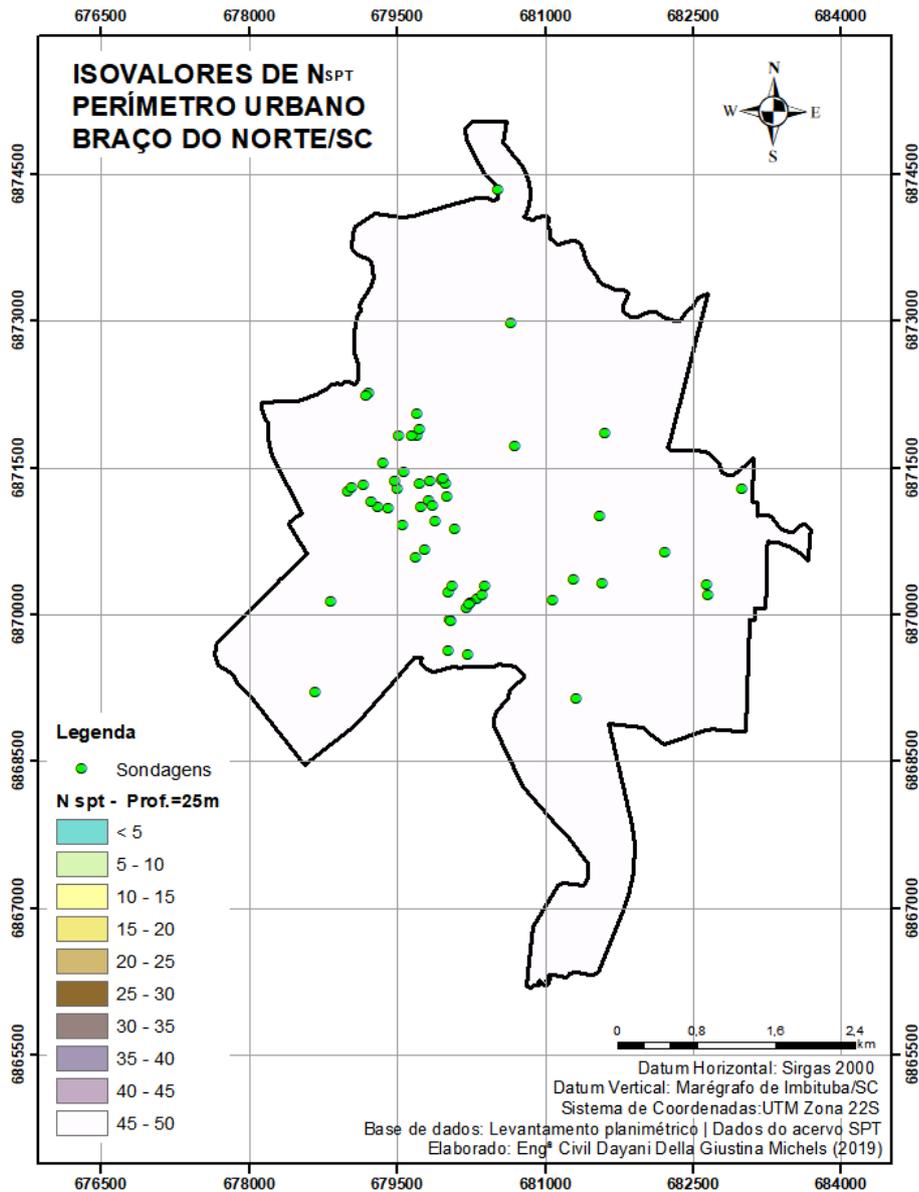


Figura 78 - Isovalores de  $N_{SPT}$  - Prof. = 25m de profundidade.



Analisando quantitativamente a Tabela 8 é possível observar o aumento da resistência com o aumento da profundidade. Na profundidade de 2m, 96,6% da área apresenta  $N_{SPT}$  entre 5 e 10 golpe, reduzindo para 43,4% da área na profundidade de 3m e deixando de ser representado nas camadas subsequentes. Os solos com resistência de 10 a 15 golpes são mais expressivos a 3m, diminuindo sua participação na profundidade de 5m, a partir da qual não possui mais solos com a referida resistência.

Na camada de 7m de profundidade, a resistência do solo apresenta variação de  $N_{SPT}$  entre 15 e 30 golpes, sendo 9,6% da área maior que 35 golpes, 1,5% da área entre 15 e 20 golpes e 88,9% da área entre 20 e 35 golpes.

Resistências próximas ao impenetrável,  $N_{SPT} > 45$ , apresentam-se de forma discreta a partir da profundidade de 7m, abrangendo apenas 1,3% da área e eleva-se até atingir 100% da área na profundidade de 25m.

Nas profundidades de 17m, 19m, 21m, 23m e 25m os valores de  $N_{SPT}$  entre 45 e 50 correspondem a 73,2%, 74,7%, 87,2%, 87,4% e 100% da área de estudo, respectivamente.

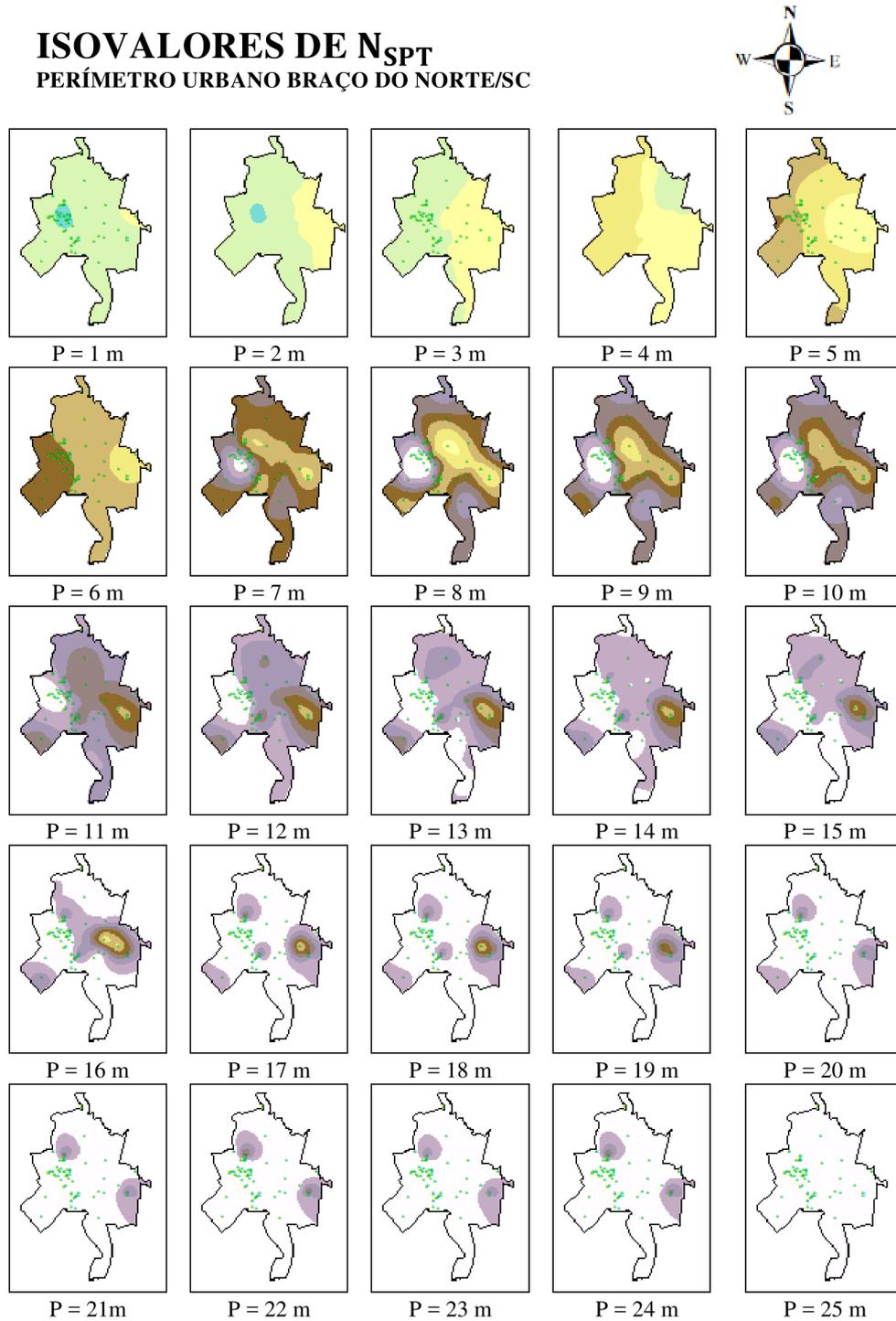
Tabela 8 - Frequência de área para as faixas de  $N_{SPT}$

$N_{SPT}/prof.$	% área						
	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m
< 5	0,8%	-	-	-	-	-	-
5 – 10	96,6%	43,4%	-	-	-	-	-
10 – 15	2,6%	56,6%	21,8%	-	-	-	-
15 – 20	-	-	46,7%	1,5%	3,1%	-	-
20 – 25	-	-	30,6%	19,5%	1,6%	1,0%	1,6%
25 – 30	-	-	0,9%	48,0%	18,1%	8,0%	4,2%
30 – 35	-	-	-	21,4%	48,4%	31,7%	7,8%
35 – 40	-	-	-	4,9%	16,0%	39,7%	21,4%
40 – 45	-	-	-	3,4%	6,4%	12,2%	36,2%
45 – 50	-	-	-	1,3%	6,4%	7,4%	28,8%
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>						
$N_{SPT}/prof.$	% área						
	15m	17m	19m	21m	23m	25m	-
< 5	-	-	-	-	-	-	-
5 – 10	-	-	-	-	-	-	-
10 – 15	-	-	-	-	-	-	-
15 – 20	-	-	-	-	-	-	-
20 – 25	0,2%	0,5%	-	-	-	-	-
25 – 30	1,9%	1,3%	0,9%	-	-	-	-
30 – 35	3,9%	2,1%	1,8%	0,1%	-	-	-
35 – 40	15,3%	5,3%	5,2%	2,0%	1,5%	-	-
40 – 45	41,6%	17,6%	17,4%	10,7%	11,0%	-	-
45 – 50	37,1%	73,2%	74,7%	87,2%	87,5%	100,0%	-
<b>Total</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>-</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Diante da Figura 79, verifica-se o aumento dos valores de  $N_{SPT}$  com o aumento da profundidade, atingindo totalmente o impenetrável aos 25m de profundidade. Observa-se, ainda, que, após 15m de profundidade, a maior parte da área apresenta impenetrável-acima de 45 golpes.

Figura 79 - Isovalores de  $N_{SPT}$  para todas as profundidades



**Legenda**

P = profundidade

Isovalores de  $N_{SPT}$ :

- |        |         |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|---------|
| < 5    | 10 - 15 | 20 - 25 | 30 - 35 | 40 - 45 |
| 5 - 10 | 15 - 20 | 25 - 30 | 35 - 40 | 45 - 50 |

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 5.4 VALIDAÇÃO, LIMITAÇÕES E APRIMORAMENTOS DOS RESULTADOS

O presente trabalho possui uma área de estudo de 23,54 km<sup>2</sup> com 58 grupos de sondagens SPT. De modo a compreender e validar a resolução espacial das cartas de aptidão para fundação, utilizou-se a Equação (7) e obteve-se o valor de 637,1m. Tal resolução foi considerada satisfatória frente aos trabalhos apresentados no Quadro 9. Segundo Thiesen (2016), a qualidade dos dados está diretamente relacionada à distribuição e heterogeneidade do elemento em estudo. Para Silva (2011), as interpolações devem verificar as seguintes limitações de distância, homogeneidade, objetividade, escala, tipificação e seleção de atributos.

De modo a complementar a validação da resolução espacial, também se utilizou o Quadro 17 e obteve-se uma resolução de 1.000m, uma vez que possuem 2,5 observações/km<sup>2</sup>, inserindo-se na categoria regional com escala de 1:25.000.

Considerando o espaçamento entre as observações entre as 58 observações de sondagem SPT, foi aplicado na forma de *buffer* e apresentado na Figura 80 os dois distanciamentos encontrados, Equação (7) e Zuquette (1993).

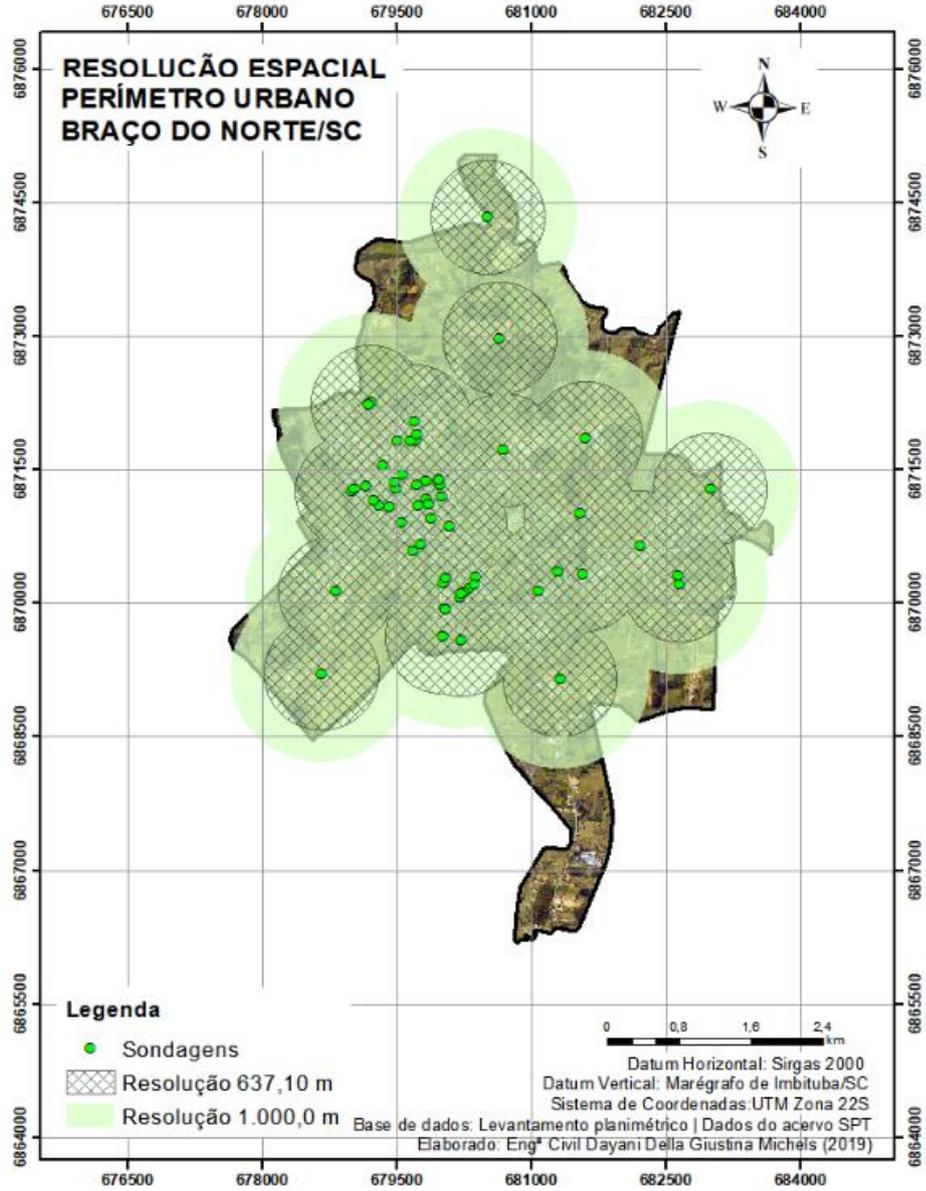
Destaca-se que regiões mais urbanizadas (região central) possuem resolução maior quando comparada a regiões menos urbanizadas (regiões periféricas), que apresentam resolução menor que 637,10 m. Quando aplicado a resolução encontrada com a Equação 7, observa-se a ausência de representatividade da resolução na parte central do bairro São Francisco de Assis e regiões periféricas da área urbana.

Nas zonas periféricas os boletins de sondagem SPT são mais restritos devido à urbanização ocorrer de forma mais precoce. Na região nordeste e leste do perímetro urbano, observa-se grande maioria, a presença de pastagem e vegetação nativa.

Quantitativamente, tem-se que, para a resolução de 637,00 m, 68,3% da área coberta abrangida, já para a sugerida por Zuquette (1993), ocorre uma abrangência de 88,90% e uma escala de 1:25.000. Considerando-se os estudos semelhantes, a amostragem utilizada no presente estudo alcançou uma quantidade considerável de dados e apresentou representatividade espacial regional, quando comparada com os parâmetros definidos por Zuquette (1993).

Destaca-se ainda que, a partir do banco de dados desenvolvido, é possível incrementar as informações e o aprimoramento na escala das cartas geradas.

Figura 80 - Resolução espacial.



## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O presente capítulo possui como objetivo apresentar as considerações finais do trabalho desenvolvido, por meio de uma reflexão sobre seus objetivos e de recomendações para estudos posteriores.

### 6.1 CONCLUSÕES

O conhecimento do meio físico viabiliza o crescimento ordenado das cidades através do planejamento urbano e políticas de uso e ocupação do solo. Considera-se a presente pesquisa como um instrumento a ser utilizado na complementação, na atualização e no auxílio do crescimento urbano da cidade de Braço do Norte/SC, uma vez que se realizou a elaboração do mapeamento geotécnico, cartas de tipos de solos e aptidão para fundação a partir de um banco de dados de sondagens SPT e modelagem geoestatística em ambiente SIG.

A UNESCO (1976) classifica o mapeamento geotécnico como a melhor impressão do ambiente geológico, seus componentes e interações. Ainda, de modo a evidenciar a importância da presente pesquisa, destaca-se a importância do mapeamento frente aos projetos estruturais. Cabe ao mapeamento geotécnico no âmbito da construção civil auxiliar na investigação da capacidade de carga do subsolo e o correto planejamento da obra, corroborando na diminuição do custo e do tempo.

Primeiramente, a fim de viabilizar a aplicação da metodologia de Davison Dias (1995), criou-se os mapas temáticos básicos da área de estudo e evidenciou-se que, aproximadamente, 50% da área encontra-se com altitude no intervalo de 50m e 75m. O relevo apresenta uma representativa área até a declividade de 8%.

Com a aplicação da metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Davison Dias (1995), ajustes realizados com a aplicação do banco de dados de sondagens SPT e sondagens simples, evidenciou-se que o perímetro urbano de Braço do Norte/SC apresenta oito unidades geotécnicas, sendo elas: Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granitóide, Cambissolo de substrato granito, Cambissolo de substrato granitóide, Depósitos aluvionares de substrato sedimentos quaternários, Cambissolo de substrato arenito, Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato arenito, Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito e Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato sedimentos quaternários. As unidades litológicas de granito,

granitóide e arenito foram encontradas nas maiores altitudes e declividade e, de modo oposto, as unidades de sedimentos quaternários estão localizadas nas menores altitudes e declividade.

Destaca-se que é apresentada no mapa geotécnico final, nas cotas com atitudes menores e próximas ao rio Braço do Norte e rio Bonito, a unidade PVsq. Sendo de conhecimento que os solos Podzólicos Vermelho-Amarelo são de origem residual e os sedimentos quaternários de origem sedimentar, pondera-se a necessidade de uma pesquisa detalhada na referida área para evidenciar possível incoerência quanto a classificação do solo.

De modo paralelo ao mapeamento geotécnico, o banco de dados de sondagens SPT foi decisivo no conhecimento do comportamento do subsolo do perímetro urbano, evidenciando a praticidade da ferramenta SIG quando associada a um banco de dados, conferindo ao trabalho realizado praticidade e simplificação na leitura dos resultados.

Na geração das cartas de tipos de solo, a área apresentou até a profundidade de 4 m solos de granulometria mais fina, argila e silte. A partir dos 8 m de profundidade, surgem pedregulhos e rochas próximos à região do rio Braço do Norte nas unidades geotécnicas definidas como: Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato arenito e Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato sedimentos quaternários. A unidade geotécnica definida como Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato granito é a que apresenta as maiores profundidades de solo, localizada principalmente nos bairros Nossa Senhora de Fátima, Uruguai, Rio Bonito e Sertão do Rio Bonito. Destaca-se que as camadas de pedregulhos e rochas são mais superficiais nas unidades geotécnicas de substrato arenito e sedimentos quaternários, com solos Podzólico Vermelho-Amarelo e Cambissolo.

Em relação à profundidade do lençol freático e impenetrável à percussão, cerca de 98,5% da área de estudo apresentam impenetrável até 18 m, enquanto que o nível d'água, de forma geral, varia entre 0 m e 5 m, com, aproximadamente, 90% do perímetro urbano de Braço do Norte. Observou-se que as regiões que apresentam uma maior espessura de solo também apresentam um nível d'água e impenetráveis à percussão mais superficiais. De posse das duas cartas de profundidade do nível d'água, conclui-se que a camada de água no subsolo tornou-se mais superficial com a inserção dos dados das principais hidrografias.

Acerca das cartas de orientação para o tipo de fundação, verificou-se que, com o aumento da profundidade, há um aumento de áreas propícias para execução de fundação superficial. Tal fato é esperado, uma vez que, há um aumento de resistência do solo com o avanço das profundidades. As zonas com indicação para fundação profunda a 1 m de profundidade localizam-se na porção central do perímetro urbano, no entorno dos principais rios e localizadas principalmente na unidade Podzólico Vermelho-Amarelo de substrato

sedimentos quaternários. Já para a profundidade de 2 m, a área indicada para a execução de fundação profunda apresenta uma pequena redução em área quando comparada ao primeiro metro.

Quanto às cartas de tensão admissíveis para fundação superficial, enfatizam-se tensões menores na parte central do perímetro urbano e maiores nas extremidades. Com o avanço da profundidade, o solo ganha resistência, com destaque para as regiões leste e oeste do perímetro urbano.

Em relação às cartas de comprimento máximo das estacas, é estimado que as estacas pré-moldadas com diâmetro menor que 30 cm apresentem até 6 m de comprimento nas porções leste e norte do perímetro urbano. Já os maiores comprimentos das estacas pré-moldadas com diâmetro maior que 30 cm são evidenciadas na região leste, nas extremidades dos bairros Lado da União, INSS e Centro. Quanto ao comprimento estimado das estacas do tipo Strauss a carta assemelha-se com as pré-moldadas de diâmetro menor que 30 cm, assim como a carta que representa o comprimento máximo do tipo hélice contínua assemelha-se a carta de comprimento máximo da estaca pré-moldadas com diâmetro maior que 30 cm. Tal fato é esperado, posto que os  $N_{SPT}$  de parada desse tipo de estaca são semelhantes.

Ainda por meio do processamento do banco de dados de sondagem SPT, foi possível o desenvolvimento das cartas de isovalores de  $N_{SPT}$ . Estas cartas demonstram que o solo do perímetro urbano ganha resistência com o aumento da profundidade. As áreas com maiores profundidades de solo são as áreas que apresentam os maiores comprimentos estimados das estacas e profundidades do impenetrável.

Diante dos resultados apresentados, é possível observar a importância do conhecimento do meio físico e do solo na região, dado que há uma variedade de características a serem consideradas na realização de uma obra e no planejamento urbano. Sendo assim, salienta-se que não se deve descartar as sondagens para o conhecimento pontual do solo e um correto dimensionamento dos elementos estruturais de uma edificação.

Por fim, enfatiza-se o caráter orientativo do presente trabalho e sua contribuição em futuras decisões frente ao uso do solo, visto que são apresentados os aspectos e parâmetros dos solos acerca da geologia, geomorfologia e pedologia do perímetro urbano de Braço do Norte/SC.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ainda que a presente pesquisa possui uma considerável abrangência e inúmeras aplicações, devido às limitações dos recursos, sugere-se o aprofundamento do trabalho no que se refere às seguintes questões:

- a) Adicionar ao banco de dados laudos sondagens SPT oriundas das empresas especializadas, construtoras, profissionais e PMBN, de modo aprimorar as análises geradas frente ao mapeamento geotécnico e cartas de aptidão;
- b) Contemplar nas análises de superfície freática a sazonalidade de período secos e chuvosos;
- c) Realizar o mapa do potencial hídrico subterrâneo com a análise vetorial do fluxo de água subterrâneo (volume e direção) da área urbana de Braço do Norte.
- d) Realizar análises completares e demais sondagens específicas na unidade geotécnica definida no mapa geotécnico final como “PVsq”, a fim de corrigir eventuais inconsistências e confirmar a unidade geotécnica quanto à sua pedologia e geologia.
- e) Levantar os tipos de fundações realizadas na área de estudo e cruzar com a carta do tipo de fundações a fim de complementar a validação da referida carta.

Por fim, destaca-se que a contínua atualização e a incorporação de novas informações no banco de dados de sondagens SPT são recomendadas, posto que a efetividade das análises geradas está diretamente proporcional à robustez do banco de dados utilizado nos estudos.

## REFERÊNCIAS

- ABITANTE, E. **Proposta Metodológica de Mapeamento Geotécnico com Uso de Pedologia em Solos Tropicais Visando Obras Rodoviárias**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- ACHTERBERG, H. A. **Estudo sobre a aplicação da classificação geotécnica MCT para um solo residual de Santa Cruz do Sul-RS**. 2014. Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz, Santa Cruz do Sul, 2014.
- ALESSI, C.C. **Análise Estatística e Geoestatística da Distribuição de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e microbiota em um Campo Petrolífero do Recôncavo Baiano (BA)**. 2011 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT: Método de ensaio: Elaboração**. Rio de Janeiro, 2001. 17p. Disponível em: <https://www.abntcolecao.com.br/pdfview/viewer.aspx?locale=pt-BR&Q=D4A7ABB9657A92438AF225EDC4E6C5829BB3BC9D930E05B4&Req=>. Acesso em: 21 de out 2019. Acesso exclusivo para assinantes da coleção eletrônica.
- BASTOS, G. **Estruturação de Banco de Dados a partir do Mapeamento Geotécnico Aplicado à Região de Ribeirão Preto (SP)**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia – áreas geotecnia) – Departamento de Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- BITAR, O. Y.; FREITAS, C.G.L.; MACEDO, E.S. **Guia Cartas geotécnicas [livro eletrônico :orientações básicas aos municípios]**. São Paulo: IPT, 2015. E-book.
- CÂMARA, G.; DAVIS JR, C.A.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 15 de jul. de 2019.
- CARAMEZ, M. L. **Mapeamento Geotécnico da Microbacia do Itacorubi – Florianópolis/SC – Aplicação do Modelo SHALSTAB para Confecção de Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos de Encostas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- CHRIST, C. E. **Mapeamento de áreas suscetíveis ao colapso na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas: Projeto Geotécnico**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N. **Fundações por Estacas: Projeto Geotécnico**. São Paulo: **Oficina de textos**, 2010.

DATE, C. J. **Uma Introdução a Sistemas de Banco de Dado**. Tradução de Daniel Vieira. 8.ed. São Paulo: Editora Campus, 2004.

DAVISON DIAS, R. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**. v.16, n. especial. p.51-55, 1995. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/rig/article/view/8845/8111>. Acesso em: 30 de abril de 2019.

DAVISON DIAS, R. Proposta de uma metodologia de estudos geotécnicos para implantação de rodovias, estradas rurais e vicinais em solos brasileiros. *In*: 33ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Florianópolis, SC 2001, **Anais [...]**.

DAVISON DIAS, R.; HIGASHI, R.R.; MARTINS, K.P. Sistema de Informações Geotécnicas do Norte do Rio Grande do Sul. *In*: III SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTECNICA DA REGIÃO SUL, 3., 2002, Porto Alegre, **Anais [...]** Porto Alegre, RS: Pallotti, 2002. p. 197-2002.

DIAS, M. J. **Distribuição espacial das características físicas e químicas do solo de cerrado utilizando krigagem indicativa**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4.ed. Brasília: **Embrapa**, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: **Embrapa**, 1999.

FONTELES, H.R.N. **Caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do Município de Fortaleza (CE) com base em Geoestatística**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

FONTELES, H. R. N.; YAMAMOTO, J. K.; ROCHA, M. M.; GANDOLFI, N. Geoestatística aplicada à modelagem do lençol freático a partir de dados de nível estático: o caso da porção nordeste de Fortaleza (CE). **Solos e Rochas**. Rio de Janeiro, v. 29, n. 3, p. 331-339, set./dez. 2006.

FORNASA, T.L. **Mapeamento geológico-geotécnico e análise de suscetibilidade a movimentos de massa em Braço do Norte**. 2018. Trabalho de conclusão de curso - Graduação em Geologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

FREIRE, O. 1932. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: **FEPAF**, 2006.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. O.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. **Fundações: Teoria e Prática**. 2ª ed., São Paulo: **PINI**, 1998.

HIGASHI, A.R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento e ambiental**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Ferramenta Cidades - dados estatísticos dos municípios brasileiros**, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/braco-do-norte/panorama>. Acesso em: 15 de julho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 3. ed. , 2015. E-book.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 2.ed. 2012. E-book

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004. E-book.

KRAEMER, G.B. **Variabilidade espacial dos atributos do solo na delimitação das unidades de mapeamento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

LANDIM, P.M.B. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Lab. Geomatemática, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 2000.

LANDIM, P.M.B.; STURARO, J.R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas de probabilidades de riscos**. Texto Didático, Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002. Disponível em: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/animal/sig/pdf/kindicativa.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/animal/sig/pdf/kindicativa.pdf) . Acesso em: 25 de junho de 2019.

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

MARINHO, F. A. M. Investigação geotécnica para quê? *In*: IV CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 2., 2005 Salvador, BA. **Anais [...]**

MAFRA JR., C.S. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente SIG**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

OLIVEIRA, J.B., JACOMINE, P.K.T., CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. E-book.

OLIVEIRA, F. S. S. **Diagnóstico e banco de dados das propriedades geotécnicas da duplicação do lote 4 da BR-470/SC com auxílio de um SIG**. 2015. Dissertação (Mestrado

em Engenharia Civil) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. – UNESCO. **Engineering Geological Maps. A Guide to Their Preparation.** Paris: The Unesc Press, 1976. Disponível em: Acesso em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000016580>. 30 de abril de 2019.

QUEIROZ, Gilberto Ribeiro; FERREIRA, Karine Reis: **Tutorial sobre Banco de Dados Geográficos.** [S. l. ]: INPE, 2006. E-book.

PASTORE, E.L.; FONTES, R.M. Caracterização e Classificação de solos. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO; S.N.A. (org.). **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998. p. 197-210.

PINTO, C.S. **Fundações teoria e prática.** 2. ed. São Paulo. PINI, 2000.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento.** 3. ed., São Paulo: Ziguarte, 2011.

REGINATTO, G. M. P. **Caracterização de movimentos de massa na bacia hidrográfica do Rio Cunha, Rio dos Cedros-SC, com ênfase em escorregamentos translacionais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

REINERT, J. **Estudo do comportamento das fundações profundas de obra industrial no litoral fluminense usando abordagem probabilística.** 2011. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RIBEIRO, P.R. **Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaçotemporal em ambiente costeiro.** 2005. Tese (Doutorado em Geografia) - Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

RODRIGUES, V.L. **Sistema de apoio à gestão urbana estruturado em SIG: aplicação em Jaú-SP.** 2013. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

SANTOS, J.O. **Aplicação de SIG para análise do perfil geológico geotécnico do Campus sede da UFSC e elaboração de cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANTOS, V. **Influência da escala no mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa com o SHALSTAB na microbacia do Ribeirão do Baú, Ilhota/SC.** Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, , Florianópolis, 2015.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao solo urbano em obras de engenharia.** 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Civil).

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

SALOMÃO, F. X. T.; ANTUNES, F. S. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: **Associação Brasileira de Geologia de Engenharia**, 1998.

SBROGLIA, R. M. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundação**. 2.ed. São Paulo: **Oficinas de Textos**, 2012.

SERVIÇOS GEOLÓGICOS DO BRASIL, CPRM. **Geologia.GIS**, 2019. Disponível em: <http://geowebapp.cprm.gov.br/ViewerWEB/>. Acessado em: 01 de fevereiro de 2018.

SILVA, A. B. **Sistemas de informações georreferenciadas: conceitos e fundamentos**. v.1. Campinas: **UNICAMP** 1999. 236p.

SOARES, W. 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 Nspt para obras de fundação em João Pessoa - PB**. 2011. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SOUZA, G.B. Uso de sistemas de informação geográfica para o zoneamento Geotécnico do Município de Feira de Santana – BA, **Sitientibus**, Feira de Santana, n.23, p.113-126, jul./dez2000. Disponível em: [http://www2.uefs.br/sitientibus/pdf/23/uso\\_de\\_sistemas\\_de\\_informacao\\_geografica.pdf](http://www2.uefs.br/sitientibus/pdf/23/uso_de_sistemas_de_informacao_geografica.pdf). Acessado em: 21 de abr. 2019.

STURARO, J.R. **Apostila de geoestatística básica**. Texto Didático, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2015. UNESP. Disponível em: <https://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/geologiaaplicada/apostila-basica.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2019.

TEIXEIRA, A. H. Projeto e execução de fundações. *In*: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA (SEFE), 3, 1996, São Paulo, SP. **Anais [...]**. São Paulo, 1996, p.33-50.

THIESEN, S. **Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT – um estudo de caso em Blumenau/SC**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

THIESEN, S.; SANTOS, J. V.; HIGASHI, R. R. Application of GIS Tools for Geotechnical Mapping - a Case Study in Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTECHNICAL ENGINEERING. 1., 2015, Colombo. **Anais [...]**. Colombo/Sri Lanka, 2015.

VALENTE, A.L.S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana.** 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

VALÉRIO FILHO, M.; COSTA M.A.; PEREIRA, M.N.; SERAFIM, C.R. Geotecnologias Aplicadas no Monitoramento do Crescimento Urbano em Áreas de Risco à Erosão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 12., 2004, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis, 2004.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** 1. ed. São Paulo: **McGraw Hill**, 1978.

XAVIER, S.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. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIM, P.M.B. **Geoestatística: conceitos e aplicações.** 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

ZUQUETTE, L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L.V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração.** Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.