

Mateus Menezes Gomes

**CARACTERIZAÇÃO DE UNIDADE GEOTÉCNICA COM ÊNFASE NA CAPACIDADE  
DE SUPORTE DO SUBSOLO DA BACIA DO RIO PAPAQUARA-  
FLORIANÓPOLIS/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título de Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Augusto dos Reis Higashi  
Coorientadora: M.a Gisele Marilha Pereira Reginatto.

Florianópolis

2018

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

Gomes, Mateus Menezes

Caracterização de unidade geotécnica com ênfase na capacidade de suporte do subsolo da bacia do Rio Papaquara Florianópolis/SC / Mateus Menezes Gomes ; orientador, Rafael Augusto dos Reis Higashi, coorientadora, Gisele Marilha Pereira Reginatto, 2018.

95 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

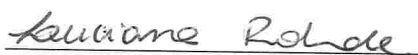
1. Engenharia Civil. 2. Sistema de Informações Geográficas (SIG). 3. Fundações Superficiais. 4. Sondagem a Percussão (SPT). 5. Spline. I. Higashi, Rafael Augusto dos Reis . II. Reginatto, Gisele Marilha Pereira. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Mateus Menezes Gomes

**Caracterização de unidades geotécnicas com ênfase na capacidade de suporte do  
subsolo da bacia do Rio Papaquara – Florianópolis/SC**

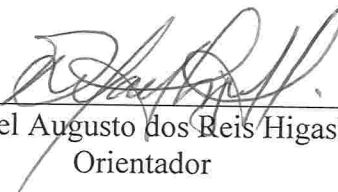
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do  
Título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Departamento de  
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 06 de dezembro de 2018.



Prof.ª Luciana Rohde, Dr.ª  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**



Prof. Rafael Augusto dos Reis Higashi, Dr.  
Orientador

M.a Gisele Marilha Pereira Reginatto  
Coorientadora

Prof.ª Liseane Padilha Thives, Dr.ª  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng.º Civil Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem, M.e



Este trabalho é dedicado aos meus avós Petrônio e Mara.



## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Paulo e Leila, por todo amor, carinho, dedicação e por sempre terem se dedicado ao máximo para me dar a oportunidade de chegar até aqui.

Às minhas irmãs Larissa e Catarina, por sempre terem me dado apoio, carinho e terem tido paciência comigo durante toda essa jornada.

Aos meus avós Petrônio e Mara, por serem exemplos de amor, respeito e caráter, que deixaram uma imensa saudade.

À minha querida e grande família recheada de tios e primos, onde cresci sempre rodeado de amor e alegria.

Aos meus amigos Igor e Eduardo, por anos de amizade e companheirismo nos melhores e piores momentos, que apesar da distância que a vida nos impôs não foi capaz de acabar.

Aos meus amigos engenheiros, em especial a André e Yuri, que me ensinaram e ajudaram durante toda a graduação e são exemplos de profissionais.

Ao meu amigo Gabriel, a quem sem ele este TCC não teria saído. Obrigado pela amizade, paciência e orientação durante esses anos.

Aos meus amigos de Aracaju e de Florianópolis, que nunca duvidaram de mim e sempre acreditaram na minha capacidade.

Ao meu orientador Prof. Rafael Higashi, pelos ensinamentos, orientação e por conseguir me acalmar em momentos críticos.

À M.a. Gisele Reginatto por toda contribuição e ajuda durante este período.

Aos membros da banca, Prof.<sup>a</sup> Liseane e M.e. Gabriel por aceitarem participar e contribuir com o desenvolvimento deste trabalho.

Aos demais professores que fizeram parte da minha educação, desde a infância até ao presente momento. Muito obrigado por todo conhecimento compartilhado comigo. Profundo respeito e admiração por vocês.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pelas oportunidades e pessoas com as quais tive o prazer de conviver, compartilhar ensinamentos e experiências.

Enfim, aos que aqui não foram mencionados, mas que contribuíram para ser quem sou e para que meus objetivos fossem alcançados.





“For myself I am an optimist. It does not seem to be much use to be anything else.”

“Sou um optimista. Não parece adiantar muito ser outra coisa qualquer.”

Winston S. Churchill



## RESUMO

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são ferramentas que possibilitam armazenar, analisar e manipular informações quantitativas e qualitativas a elementos geográficos além de integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados que permitem análises complexas e a produção de documentos cartográficos. Esses documentos podem ser de grande importância para o planejamento territorial de centros urbanos entre outras aplicações. Este estudo, utilizou-se do SIG, para a caracterização da unidade geotécnica Gsq da bacia do Rio Papaquara – Florianópolis – SC. Baseado no cruzamento do banco de dados de ensaios de sondagem a percussão (SPT) com o mapa geotécnico, calculou-se a capacidade de suporte do solo através do método semi-empírico. A técnica de interpolação *Spline* utilizada para estimar os demais valores não existentes na unidade geotécnica foi determinada através de uma comparação de resultado com outras técnicas. A partir da interpolação, foram elaborados oito mapas de aptidão do solo ao suporte de três edificações distintas (um pavimento, dois pavimentos e quatro pavimentos) utilizando fundações superficiais do tipo sapatas em diferentes profundidades de assentamento. Cada edificação foi representada por cargas diferentes aplicadas em sapatas de dimensões distintas. As análises mostraram que a unidade geotécnica Gsq possui uma baixa capacidade de suporte, sendo classificada em sua maioria como inapta, seja por possuir camadas de solo pouco resistentes e/ou solos moles ou fofos que podem gerar problemas de recalque. Conclui-se que o método é apropriado para uma análise preliminar, mas não exime de realizar ensaios para a execução de obras.

**Palavras-chave:** Sistema de Informação Geográfica (SIG). Fundações superficiais. Sondagem a Percussão (SPT). Spline. Rio Papaquara – Florianópolis - SC.



## ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) are tools that allow the storage, analysis and manipulation of quantitative and qualitative geographic data, as well as to integrate the database of several sources and georeferenced databases that enables complex analyzes and a production of cartographic documents. These documents can be of great importance for the territorial planning of urban centers among other applications. This study uses GIS to characterize the Gsq geotechnical unit of the Papaquara River basin - Florianópolis - SC. Based on the cross of the database of percussion drilling tests (SPT) with the geotechnical map, it was calculated the soil support capacity through a semi-empirical method. The Spline interpolation technique used to estimate the other non-existent values in the geotechnical unit was obtained through a comparison with other techniques. From the interpolation, eight soil fitness maps were prepared to support three different buildings (one floor, two floors and four floors) using surface foundations at distinct settlement depths. Each building was represented by different loads on shoes foundation with distinct dimensions. The analyzes showed that the Gsq geotechnical unit has a low support capacity, and is classified in its majority as inapt, either because it has poorly resistant soil layers and/or soft soils that can cause problems of repression. It is concluded that the method is suitable for preliminary analysis but does not exempt from carrying out tests for the execution of works.

**Keywords:** Geographic Information Systems (GIS). Surface foundations. Percussion drilling (SPT). *Spline*. Rio Papaquara – Florianópolis-SC.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dado representado vetorialmente, a esquerda, e matricialmente a direita.....	27
Figura 2 - Estruturas matriciais.....	27
Figura 3 – Estruturas vetoriais.....	28
Figura 4 - Metodologia de Dias (1996) para o mapeamento geotécnico.....	29
Figura 5 - Grade formada pelo processo de interpolação de amostras pontuais: .....	30
Figura 6 - Exemplificação do IDW. ....	31
Figura 7 - Exemplificação do método Vizinho Natural.....	31
Figura 8 - Exemplo de uma <i>Spline</i> desenhada no AutoCAD. ....	32
Figura 9 - Propagação de tensão diretamente pela base. ....	33
Figura 10 - Atrito lateral. ....	33
Figura 11 - Fundação superficial e profunda. ....	33
Figura 12 - Principais tipos de fundações superficiais. ....	34
Figura 13 - Ensaio SPT a) avanço por circulação de água b) avanço por cravação. ....	36
Figura 14 - Modelos de ruptura: geral (esq) e por puncionamento (dir). ....	37
Figura 15 - Bulbo de Tensões de uma sapata. ....	38
Figura 16 - Estimativa do $N_{SPT}$ médio. ....	40
Figura 17 - Mapas geoevolutivos da Ilha de Santa Catarina. ....	42
Figura 18 - Mapas geoevolutivos da Ilha de Santa Catarina. ....	42
Figura 19 - Mapa de caracterização da sub-bacia do Rio Papaquara. ....	45
Figura 20 - Mapa geotécnico da bacia do Rio Papaquara. ....	46
Figura 21 - Fluxograma do presente estudo. ....	47
Figura 22 - Camada de solos moles ou fofos dentro do bulbo de tensões. ....	54
Figura 23 – Mapa com os pontos utilizados para a interpolação e avaliação.....	56
Figura 24 - Comparativo entre interpoladores: IDW (esq), <i>Spline</i> (centro) e Vizinho Natural (dir). ....	57
Figura 25 - Mapa de aptidão da Sapata 1 apoiada a 1 m de profundidade .....	63
Figura 26 - Mapa de aptidão da Sapata 1 apoiada a 2 m de profundidade .....	65
Figura 27 - Mapa de aptidão da Sapata 2 apoiada a 1 m de profundidade .....	67
Figura 28 - Mapa de aptidão da Sapata 2 apoiada a 2 m de profundidade .....	69

Figura 29 - Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 1 m de profundidade. ....	71
Figura 30 – Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 2 m de profundidade. ....	73
Figura 31 - Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 3 m de profundidade. ....	75
Figura 32 - Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 4 m de profundidade. ....	77



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Qualificação da camada de assentamento em função do $N_{SPT}$ .....	35
Quadro 2 - Profundidade do bulbo de tensões.....	39
Quadro 3 - Características das sapatas.....	49
Quadro 4 - Profundidade dos bulbos de tensões.....	50
Quadro 5 - Tensão admissível para que não ocorra a ruptura do solo.....	51
Quadro 6 - $N_{SPT}$ médio que o solo deve apresentar para atender as solicitações impostas .....	52
Quadro 7 - Distribuição dos pontos nas unidades geotécnicas.....	55
Quadro 8 - Dados de Entrada para os diferentes métodos interpoladores .....	55
Quadro 9 - Comparação entre interpoladores .....	58
Quadro 10 - Classificação de aptidão dos solos para Edificação 1 .....	59
Quadro 11 - Classificação de aptidão dos solos para Edificação 2 .....	59
Quadro 12 - Classificação de aptidão dos solos para Edificação 3 .....	60
Quadro 13 - Identificação dos mapas temáticos .....	61
Quadro 14 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 1 apoiada a 1 m de profundidade.....	64
Quadro 15 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 1 apoiada a 2 m de profundidade.....	64
Quadro 16 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 2 apoiada a 1 m de profundidade.....	66
Quadro 17 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 2 m apoiada a 2 m de profundidade.....	68
Quadro 18 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 3 apoiada a 1 m de profundidade.....	70
Quadro 19 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 3 apoiada a 2 m de profundidade.....	72
Quadro 20 - Percentual de aptidão a execução da Sapata de 3 apoiada a 3 m de profundidade.....	74
Quadro 21 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 3 apoiada a 4 m de profundidade.....	76



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- Gsq – Gleissolos com substrato sedimentos quaternários
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDW – Inverso Ponderado da Distância
- LAMGEO – Laboratório de Mapeamento Geotécnico
- $N_{SPT}$  – Medida do índice de resistência à penetração dinâmica
- MDT – Modelo Digital do Terreno
- SDS – Secretária de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável
- SIG – Sistema de Informações Geográficas
- SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
- SPT – *Standard Penetration Test*
- UTM – Universal Transversa de Mercator



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
1.1	OBJETIVOS .....	24
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>24</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>24</b>
1.1.3	<b>Delimitações do Trabalho .....</b>	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>26</b>
2.1	SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) .....	26
2.1.1	<b>Métodos de Interpolação.....</b>	<b>29</b>
2.2	FUNDAÇÕES .....	32
2.2.1	<b>Sapatas .....</b>	<b>35</b>
2.3	SPT .....	35
2.4	Capacidade de Carga .....	37
2.4.1.1	Bulbo de Tensões.....	38
2.4.1.2	Método Semi-Empírico para Estimativa da Tensão Admissível.....	39
<b>3</b>	<b>Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO .....</b>	<b>47</b>
4.1	LEVANTAMENTO DE DADOS PREEXISTENTES .....	48
4.1.1	<b>Mapas.....</b>	<b>48</b>
4.1.2	<b>Dados de SPT .....</b>	<b>48</b>
4.2	Determinação das Edificações e Sapatas.....	49
4.3	DETERMINAÇÃO DO $N_{SPT}$ MÉDIO PARA OS PONTOS DE SONDAGEM.....	49
4.3.1	<b>Profundidade do Bulbo de Tensões (Z) .....</b>	<b>49</b>
4.3.2	<b>Tensão Admissível (<math>\sigma_{adm}</math>).....</b>	<b>50</b>
4.3.3	<b>Cálculo da Tensão Admissível do Solo.....</b>	<b>51</b>

4.4	Elaboração dos mapas temáticos .....	54
<b>4.4.1</b>	<b>Método de Interpolação .....</b>	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>57</b>
5.1	Comparação entre métodos de interpolação .....	57
5.2	Análise Pontual dos Dados .....	59
5.3	Mapas de Aptidão para sapatas superficiais .....	61
	<b>Mapas de aptidão para construção da edificação 1 .....</b>	<b>62</b>
	<b>Mapas de aptidão para construção da edificação 2 .....</b>	<b>66</b>
	<b>Mapas de aptidão para construção da edificação 3 .....</b>	<b>70</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>87</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, a coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais, plantas sempre foi de interesse da sociedade. Segundo Gould e Bailly (1995), ao longo da história a confecção de mapas foi uma das armas de inteligência para adquirir um poder, administrá-lo e legitimá-lo, além do uso como forma de influência. O conhecimento sobre a distribuição geográfica abria a possibilidade de transformá-lo em vantagem podendo ser aplicada a diversas áreas.

Na Antiguidade, os romanos utilizaram mapas para vigiar as fronteiras e auxiliar a logística dos exércitos. Durante a Era dos Descobrimentos, a cartografia foi um trunfo para a descobertas de novas terras ou novas rotas comerciais nas grandes navegações. Do século XVIII ao início do século XX, os mapas foram essenciais para auxiliar a administração das vastas terras e populações presentes nos grandes impérios. Atualmente a cartografia possui diversas aplicações, principalmente quando utilizada para auxílio no planejamento territorial.

No Brasil, a Constituição Federal de 1988 estabeleceu o Plano Diretor Municipal como instrumento básico de política de desenvolvimento e expansão urbana, a fim de orientar a ocupação do solo urbano. A medida foi tomada por conta do crescimento desordenado das grandes cidades durante o intenso processo de urbanização do Brasil evidenciado no último século. Este processo, caracterizado pela falta de planejamento urbano, trouxe consequências negativas como, por exemplo, a ocupações de áreas sujeitas ao impacto de ameaças naturais. A ocupação dessas áreas aumenta a probabilidade de ocorrência de desastres relacionados a deslizamentos, enchentes e erosões, além de contribuir para a poluição e degradação ambiental.

Utilizando softwares adequados é possível espacializar e cruzar dados de interesse, em um sistema de informação geográfica (SIG), permitindo assim a análise simultânea de um grande número de elementos distintos e a criação de mapas temáticos. Estes mapas abordam temas específicos de interesse, por exemplo, o uso e a ocupação do solo, e podem ser utilizados no planejamento territorial.

Neste contexto, o presente estudo buscou elaborar em ambiente SIG mapas temáticos de aptidão do solo à construção de diferentes tipos de edificações (que representam diferentes solicitações e diferentes tipos de sapatas) com a identificação pontual de áreas com possíveis problemas de recalque em uma bacia hidrográfica no município de Florianópolis/SC. Para tanto,

serão analisados perfis de sondagens do tipo *Standard Penetration Test* (SPT) realizados na unidade geotécnica Gsq (Gleissolos com substrato sedimentos quaternários), individualizada por SANTOS (1997), na área de estudos, que compreende a bacia do Rio Papaquara no município de Florianópolis/SC.

O conhecimento do comportamento do subsolo é essencial para a elaboração de um projeto de fundações. Uma fundação mal projetada pode ocasionar desde patologias como a fissuração até a ruína de uma edificação. De acordo com Brito (1987 apud MELHADO et al, 2002), “fundações bem projetadas correspondem de 3% a 10% do custo total do edifício; porém, se forem mal concebidas e mal projetadas, podem atingir 5 a 10 vezes o custo da fundação mais apropriada para o caso”.

Assim, este trabalho pode vir a fornecer subsídios a elaboração de projetos preliminares de fundações e assistir à gestores de planejamento urbano e auxiliar.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Mapear as áreas propícias à utilização de fundação superficial do tipo sapata na bacia hidrográfica do Rio Papaquara.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho apresenta como objetivos específicos:

- a) Calcular as cargas e dimensões das sapatas para 3 tipos de edificações;
- b) Verificar os locais com capacidade de suporte adequada à cada uma das edificações, com base nos perfis de sondagens SPT;
- c) Elaborar mapas temáticos de aptidão à construção das edificações, que utilizem fundação superficial do tipo sapata sob diferentes solicitações com a identificação pontual dos locais com problemas de recalque.



### 1.1.3 Delimitações do Trabalho

Devido ao custo relativo a realização de sondagens SPT, este estudo se propôs a utilizar relatórios de sondagem disponibilizados por empresas atuantes no município de Florianópolis-SC e pelo Laboratório de Mapeamento Geotécnico da Universidade Federal de Santa Catarina. Desta forma, o tamanho da amostra ficou limitado ao número de sondagens disponíveis e assim optou-se por analisar somente a unidade geotécnica Gleissolos sedimentos quaternários (Gsq) da Bacia do Rio Papaquara, visto que esta apresentava uma maior quantidade de dados. Também, devido ao número limitado de amostras não foi aferido a acurácia do mapa.

Outra limitação importante foi relativa ao método de interpolação utilizado. O *Spline*, o IDW (Inverso ponderado da distância) e o Vizinho Natural, são métodos de interpolação mais simples do que alguns já utilizados em outros estudos como o *Kriging* (Krigagem).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão apresentados conceitos e informações relacionados a temática do presente estudo.

### 2.1 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG)

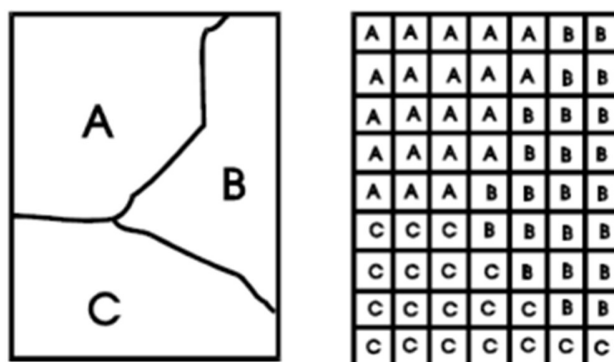
Os SIG's representam ferramentas computacionais utilizadas para armazenar, analisar e manipular informações geográficas (HIGASHI, 2006). Ainda segundo o referido autor, permite integrar dados de diversas fontes e criar um banco de dados georreferenciado, a partir do qual podem ser realizadas análises complexas, tornando possível a produção de documentos cartográficos.

De acordo com Câmara (1993 apud HIGASHI, 2006), as principais funções de um SIG são:

- Integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários, e de cadastramento, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, numa única base de dados;
- Cruzar informações por meio de algoritmo de manipulação para gerar mapeamentos derivados;
- Consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

Em um SIG os dados devem estar associados a algum sistema de coordenadas e a um sistema de referência conhecido, sendo que, de forma geral, são divididos em dois tipos: dados espaciais e dados alfanuméricos. (FRITZ, 2008). Segundo esse mesmo autor, os dados espaciais podem ser representados espacialmente, de forma gráfica, e a sua estrutura pode ser de origem matricial (*raster*) ou vetorial (Figura 1).

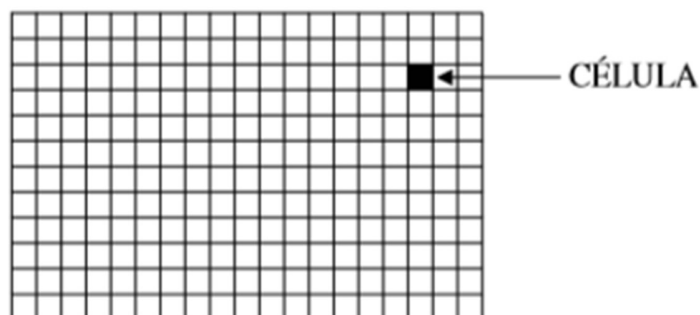
Figura 1 - Dado representado vetorialmente, a esquerda, e matricialmente a direita.



Fonte: Câmara, Davis e Monteiro (2001)

Na estrutura matricial (Figura 2), ou em grade, os dados são representados por uma matriz  $M (n, m)$  com  $n$  linhas e  $m$  colunas, com cada célula (pixel) tendo um valor correspondente ao atributo estudado. Imagens de satélite, mapas digitalizados e fotografias aéreas digitais são exemplos de dados matriciais. (FRITZ, 2008; ROSOLEM, 2014)

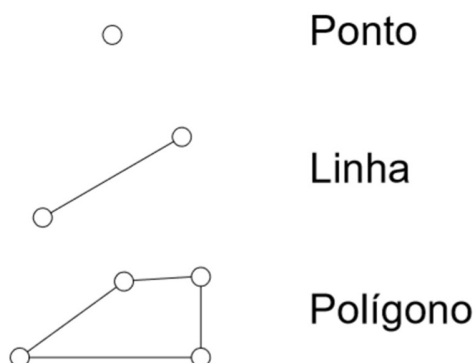
Figura 2 - Estruturas matriciais.



Fonte: Adaptado de Higashi (2006).

Os dados vetoriais (Figura 3) têm sua estrutura composta por três elementos gráficos: pontos, linhas e polígonos. Os pontos são pares ordenados de coordenadas geográficas, e as linhas e polígonos representam um conjunto de pares de coordenadas. (FRITZ, 2008)

Figura 3 – Estruturas vetoriais.



Fonte: Adaptado de Higashi (2006).

Por sua vez, os dados alfanuméricos (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), são informações formadas por caracteres (letras, números, símbolos) associadas a um dado elemento ou objeto gráfico, podendo ser armazenados em tabelas, constituindo um banco de dados. (FRITZ 2008)

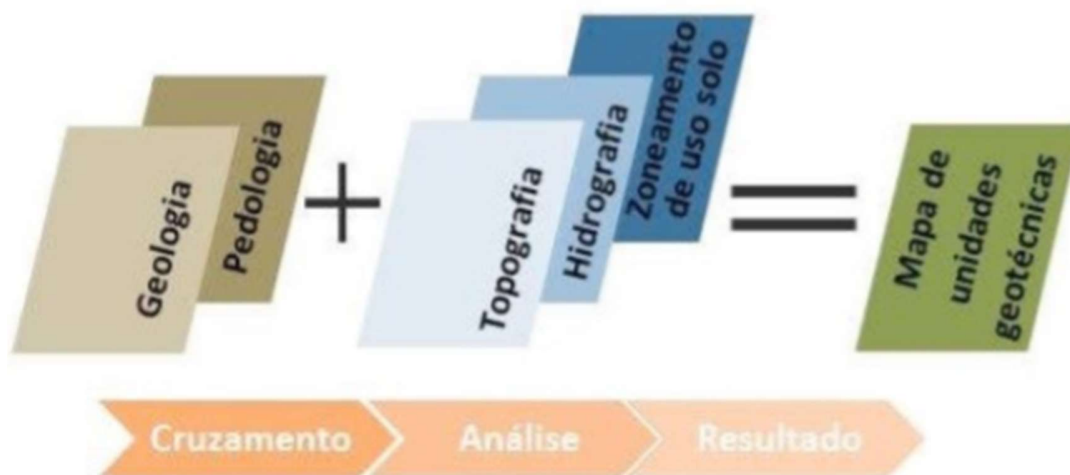
O potencial dos SIGs em produzir novas informações a partir de um banco de dados georreferenciado, demonstra que suas aplicações são inúmeras, dentre as quais citam-se: elaboração de mapas temáticos, cartografia geotécnica, avaliação geotécnica, gerenciamento ambiental, entre outras (HIGASHI, 2006). De acordo com esse mesmo autor, os mapas temáticos são mapas que exibem uma região geográfica particionada em áreas de interesse ao tema estudado.

É importante salientar que um SIG desvinculado de um banco de dados consistente geram resultados pouco precisos. (FRITZ, 2008)

O mapa geotécnico é um dos exemplos de um mapa temático que pode ser gerado através de um SIG. Este representa as principais características geomecânicas dos solos, podendo ser utilizado na previsão do comportamento desses, possibilitando assim sua aplicação em projetos ambientais e de engenharia. (HIGASHI, 2006). Ainda segundo o referido autor, a metodologia de Davisson Dias (1995), é uma técnica de mapeamento geotécnico de grandes áreas para solos tropicais, muito utilizada no Sul do Brasil para diversos fins. De uma forma geral, essa metodologia consiste no cruzamento entre os mapas litológico (elaborado a partir do mapa geológico) e pedológico, obtendo um terceiro mapa, que apresenta as unidades geotécnicas

que compõem uma área, a partir das quais, pode-se estimar o comportamento dos solos com base na sua gênese (Figura 4).

Figura 4 - Metodologia de Dias (1996) para o mapeamento geotécnico.



Fonte: Isoppo (2013 apud SOUZA, 2016)

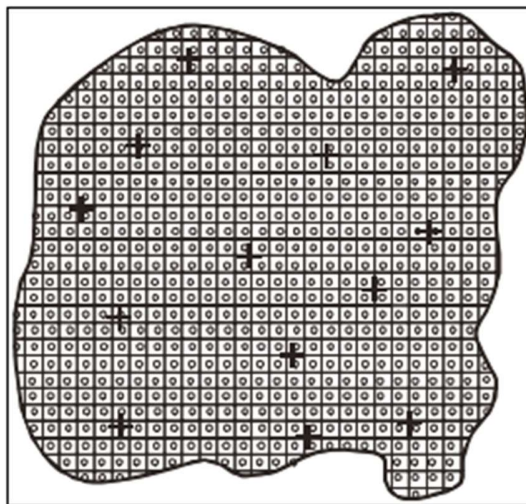
No presente estudo serão elaborados mapas temáticos que delimitam áreas de aptidão a execução de sapatas superficiais para diferentes cargas. Para produzi-los foi necessário especializar superfícies de aptidão através da interpolação de dados. Os métodos de interpolação utilizados neste estudo são descritos no item a seguir.

### 2.1.1 Métodos de Interpolação

Existem diferentes métodos para análise espacial de superfícies, mas a característica comum a todos é que os dados devem ser georreferenciados, ou seja, sempre acompanhados das suas respectivas coordenadas geográficas. (FERNANDES, 2014)

De acordo com Camargo, Fucks e Câmara (2002), os dados encontram-se dispostos na forma de amostras pontuais, pertencentes a uma mesma superfície contínua, e para gerar uma representação na forma de uma grade regular é necessária a interpolação desses dados (Figura 5).

Figura 5 - Grade formada pelo processo de interpolação de amostras pontuais.

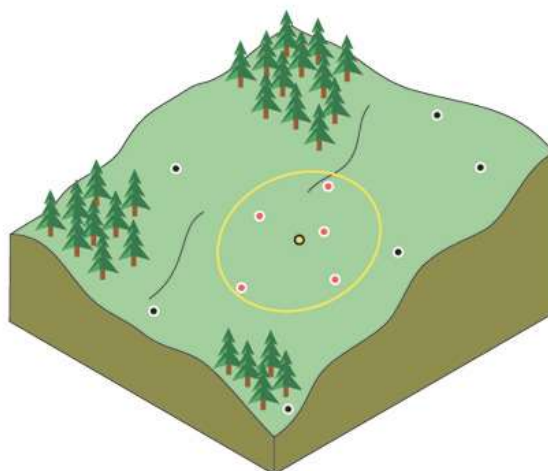


Fonte: Camargo, Fucks e Câmara (2002).

A interpolação busca descrever os dados não computados por meio de equações. Existem diversos métodos interpoladores como: a Krigagem, o Inverso Ponderado da Distância (IDW), Vizinho Natural e o *Spline*.

A premissa do método Inverso Ponderado da Distância, ou IDW, é que os itens mais próximos são mais similares que os distantes, ou seja, a influência de um dado conhecido para um ponto estimado decresce à medida que estes se afastam. (ERSI, 2018a). Segundo Lamdim (2000), o método é o mais utilizado dentre os métodos de distância ponderada, funcionando melhor quando existir uma boa densidade de dados, sendo muito utilizado para geração de modelos digitais de terreno (MDTs). A Figura 6 exemplifica o modelo, onde os pontos vermelhos terão mais influência que os pontos pretos.

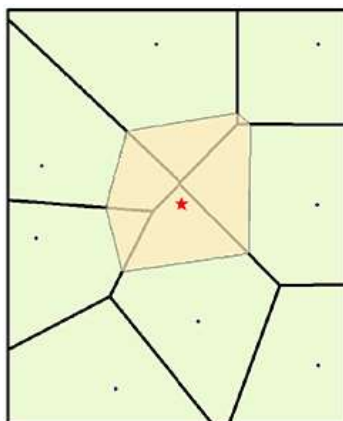
Figura 6 - Exemplificação do IDW.



Fonte: ERSI (2018a)

Para interpolação, o método Vizinho Natural identifica os pontos mais próximos ao ponto estimado e aplica pesos diferentes proporcionais às áreas de influência. O método cria uma rede de polígonos de Thiessen a partir do conjunto de pontos de dispersão e cria novos polígonos para cada ponto estimado. O valor estimado tem seu peso baseado na proporcionalidade que o novo polígono abrange da área de influência dos pontos de dispersão (Figura 7) (ERSI, 2018b).

Figura 7 - Exemplificação do método Vizinho Natural.

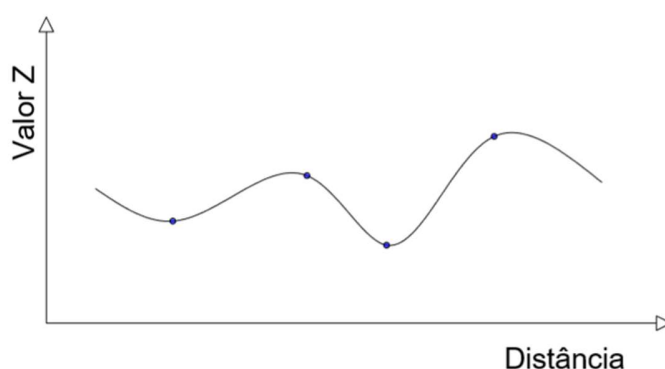


Fonte: ERSI (2018b)

Já no método *Spline*, os dados são estimados baseados em equações polinomiais. De acordo com Bispho, Bratney e Laslett (1998), a interpolação por uma equação polinomial tem a

desvantagem de qualquer variação local afetar a precisão em todos os outros pontos. Ainda segundo os referidos autores, as splines podem ajustar uma série de funções independentes locais em pequenos intervalos de dados, suavizando curvas entre qualquer conjunto de dados, a fim de superar essa desvantagem. Os splines (Figura 8) possuem duas características principais: a superfície deve passar exatamente pelos pontos de dados e devem possuir uma curvatura mínima. (ERSI, 2018c).

Figura 8 - Exemplo de uma *Spline* desenhada no AutoCAD.



Fonte: Autor (2018).

Apesar do software permitir automatizar algumas funções e gerar diversos resultados, é preciso que o usuário saiba interpretá-los. Bärh (1999) faz algumas ressalvas ao uso do SIG quanto:

- a) Aplicação inadequada: todas as decisões finais devem ser humanas, não automatizadas.
- b) Excesso de expectativas: o usuário esperar resultados maravilhosos, quando este é fruto dos dados de entrada.

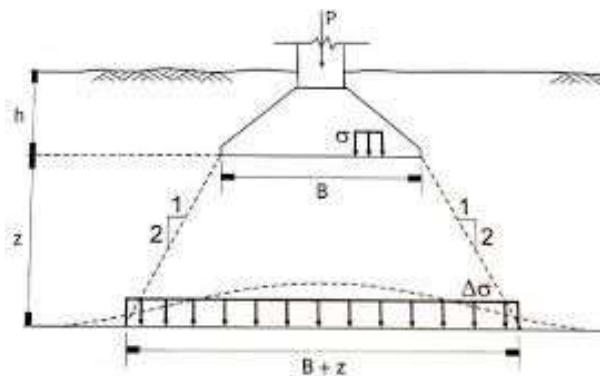
## 2.2 FUNDAÇÕES

Fundações são elementos estruturais com a finalidade de transmitir as cargas de uma edificação para o solo. Esta transmissão deve ocorrer de forma que não haja uma ruptura do terreno, devendo ser propagadas ao longo das camadas resistentes solo. A transmissão das cargas



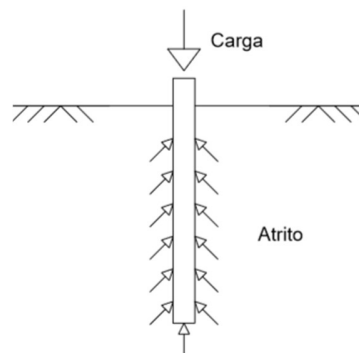
pode ocorrer de duas maneiras predominantes: diretamente pela base da fundação (Figura 9) ou indiretamente através do atrito lateral entre o elemento de fundação e o solo (Figura 10).

Figura 9 - Propagação de tensão diretamente pela base.



Fonte: Cintra, Aoki e Albiero (2011).

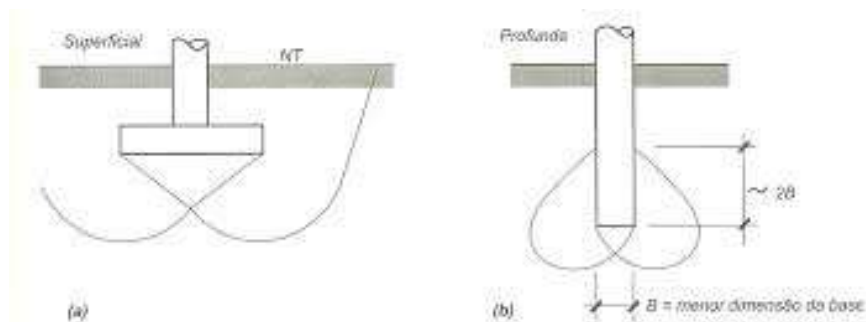
Figura 10 - Atrito lateral.



Fonte: Adaptado de Cintra, Aoki e Albiero (2011).

As fundações se dividem em dois grandes grupos: superficiais e profundas, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Fundação superficial e profunda.



Fonte: Velloso e Lopes (2012).

As fundações superficiais, também chamadas de fundações rasas ou diretas, são, segundo a ABNT NBR 6122 (2010), elementos “em que a carga é transmitida ao terreno pelas pressões distribuídas sob a base da fundação”. A referida norma também utiliza a profundidade de assentamento para classificar a fundação como superficial, mencionando: quando “a sua

profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação”.

De acordo com Velloso e Lopes (2012), quanto aos tipos de fundações superficiais, existem (Figura 12):

Bloco – elemento de fundação de concreto simples, dimensionado de maneira que as tensões de tração possam ser resistidas pelo concreto, sem necessidade da armadura;

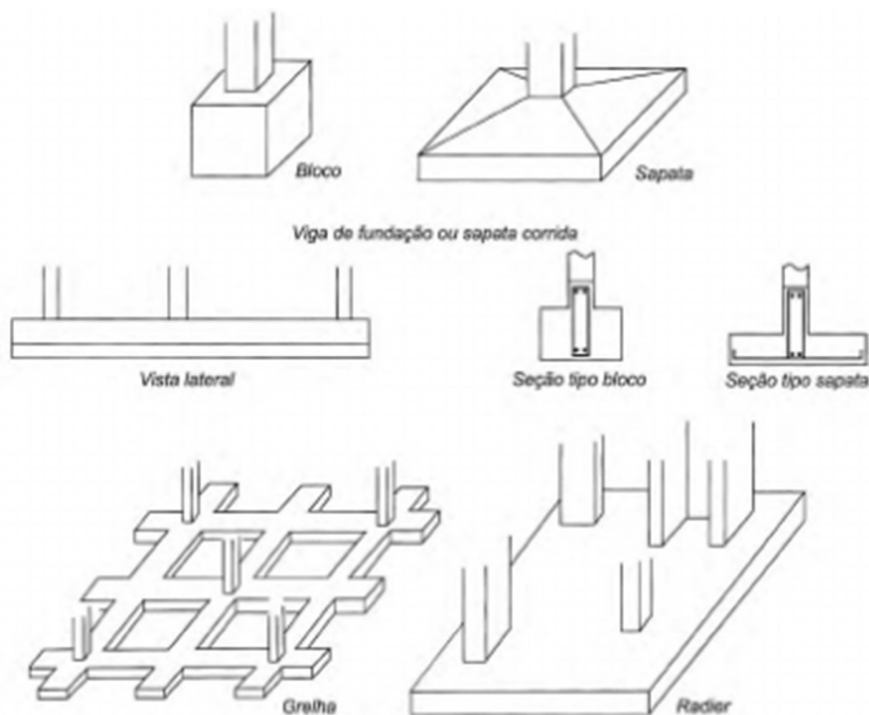
Sapata – elemento de fundação de concreto armado, dimensionado de modo que as tensões de tração sejam resistidas por armadura;

Sapata corrida – sapata sujeita à ação de uma carga distribuída linearmente;

Grelha – elemento de fundação constituído por um conjunto de vigas que se cruzam nos pilares;

Radier – elemento de fundação que recebe parte ou todos os pilares de uma estrutura.

Figura 12 - Principais tipos de fundações superficiais.



Fonte: Velloso e Lopes (2012).

### 2.2.1 Sapatas

Como mencionado anteriormente, sapatas são elementos de fundação em concreto armado. As tensões de tração são resistidas pela armadura e por esta razão as sapatas tem uma altura menor que os blocos de concreto. Podem ter espessura constante ou variável e base de formas quadrada, retangular ou trapezoidal. Quando uma sapata é comum a vários pilares, denomina-se sapata associada. (ANDRADE, 2003).

Segundo Botelho (2007, apud ARARIPE), as sapatas são soluções ideais para cargas solicitantes não tão elevadas e quando o solo apresenta camadas superficiais com alta capacidade de suporte. Por não exigir uma mão de obra especializada e nem equipamentos caros para execução, as sapatas costumam ser uma alternativa econômica.

No Quadro 1, Berberian (2001 apud ANDRADE, 2003) qualifica a profundidade de assentamento adotada para sapatas em função do número de golpes das sondagens SPT ( $N_{SPT}$ ):

Quadro 1 - Qualificação da camada de assentamento em função do  $N_{SPT}$

$N_{SPT}$	Qualificação da Camada
Menor que 10	Ruim
10 a 20	Razoável
20 a 25	Bom
25 a 30	Ideal

Fonte: Adaptado de Berberian (2001 apud ANDRADE, 2003)

Hachich et al. (1998) recomenda que as escavações das sapatas se iniciem próximo a um ponto de sondagem. Ainda sobre a execução deve-se iniciar pelos elementos posicionados nas cotas mais baixas e executar um lastro de concreto simples com pelo menos 5 cm de espessura que ficará sob a sapata.

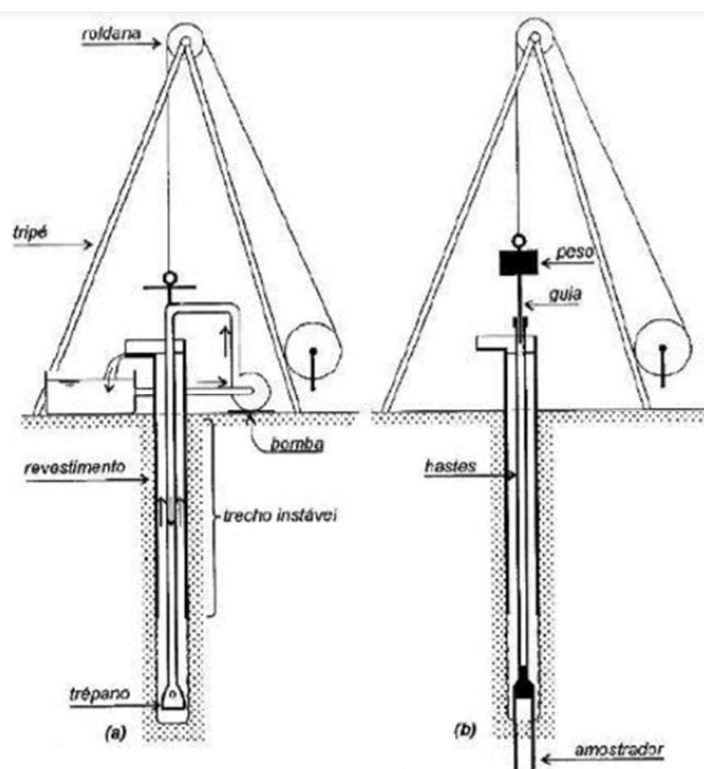
Para determinar se a sapata, ou qual tipo de fundação é mais adequado, é necessário realizar primeiramente a investigação do solo através de ensaios exploratório como o SPT. Com os dados do ensaio é possível estimar a capacidade de carga do solo e dimensionar as fundações.

### 2.3 SPT

O ensaio SPT (*Standart Penetrarion Test*), é a sondagem mais comum utilizada para investigações do solo. Isso ocorre por ser um teste de baixo custo de execução, com equipamentos fáceis de serem transportados e informações suficientes para elaboração de um projeto de fundações. (SCHNAID e ODEBRECHT, 2012). Ainda segundo os autores, o ensaio SPT (Figura 13):

“... constitui-se em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração é obtida por tradagem e circulação de água, utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. Amostras representativas do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio de amostrador padrão com diâmetro externo de 50 mm. O procedimento de ensaio consiste na cravação do amostrador no fundo de uma escavação (revestida ou não), usando-se a queda de peso de 65 kg de uma altura de 750 mm [...] O valor  $N_{SPT}$  é o número de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar 300 mm, após uma cravação inicial de 150 mm.”

Figura 13 - Ensaio SPT a) avanço por circulação de água b) avanço por cravação.



Fonte: Velloso e Lopes (2012).

A norma ABNT NBR 6484 (2001) prescreve o método de execução da sondagem por SPT. Segundo ela, as finalidades do ensaio são:

- a) A determinação dos tipos de solo em suas respectivas profundidades de ocorrência;
- b) A posição do nível-d'água;
- c) Os índices de resistência à penetração a cada metro.

A norma ainda determina como critérios de paralização da sondagem quando:

- a) Em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o número de golpes ultrapassar 30;
- b) Um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a cravação;
- c) Não se observar avanço do amostrador-padrão.

#### 2.4 Capacidade de Carga

Cintra, Aoki e Albiero (2011), definem a capacidade de carga de um elemento de fundação ( $\sigma_r$ ), como a resistência máxima que o sistema sapata-solo suporta antes de ocorrer a ruptura do solo. Entretanto, quando atingida, a ruptura pode ocorrer de duas formas diferentes: ruptura geral e ruptura por puncionamento (Figura 14).

Segundo os mesmos autores, a ruptura geral normalmente ocorre em solos mais resistentes, menos deformáveis e em sapatas superficiais. A ruptura é abrupta e ocorre o tombamento da sapata. A ruptura por puncionamento normalmente ocorre em solos mais deformáveis e menos resistentes e, ao invés do tombamento da fundação, ocorre a penetração cada vez maior do elemento de fundação devido a compressão do solo subjacente.

Figura 14 - Modelos de ruptura: geral (esq) e por puncionamento (dir).



Fonte: Adaptado de Vesic (1975)

Ainda segundo Cintra, Aoki e Albiero (2011) a tensão ( $\sigma$ ) aplicada no solo por uma sapata pode ser calculada pelo princípio de ação e reação. Considerando uma sapata de concreto armado de base retangular com largura B e comprimento L, onde está sendo aplicada uma força vertical de compressão P no topo da sapata, pode-se calcular a tensão aplicada no solo com a equação (1);

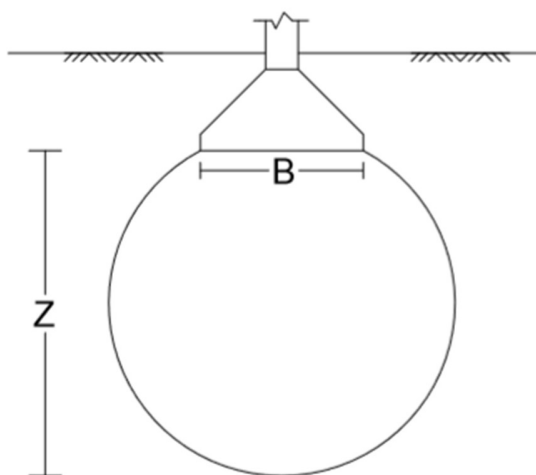
$$\sigma = \frac{P}{BL} \quad (1)$$

Para o cálculo da capacidade de carga, é preciso determinar quais camadas do solo estão sujeitas as tensões distribuídas pela estrutura de fundação. A propagação das tensões no solo pode ser estimada através do bulbo de tensões.

#### 2.4.1.1 Bulbo de Tensões

Bulbo de tensões (Figura 15) é um conceito da mecânica dos solos que visa simplificar a propagação das tensões no solo, que corresponde ao conjunto de linhas isobáricas ao longo dos quais é transmitida uma mesma fração da tensão aplicada. Assim, a profundidade Z do bulbo é definida como final quando a tensão corresponde a 10% da tensão inicial.

Figura 15 - Bulbo de Tensões de uma sapata.



Fonte: Autor (2018).

Segundo Simons e Menzies (1981 apud CINTRA, AOKI E ALBIERO, 2011), a profundidade do bulbo de tensões ( $Z$ ) pode ser mensurada através de cálculos rigorosos utilizando conceitos da teoria da elasticidade. Contudo, para efeitos práticos, em fundações superficiais, pode-se considerar o exposto no Quadro 2.

Quadro 2 - Profundidade do bulbo de tensões.

Geometria da base da sapata	Profundidade do bulbo de tensões
Sapata circular ou quadrada	$z = 2B$
Sapata retangular	$z = 3B$
Sapata corrida	$z = 4B$

Fonte: Adaptado de Cintra, Aoki e Albiero (2011).

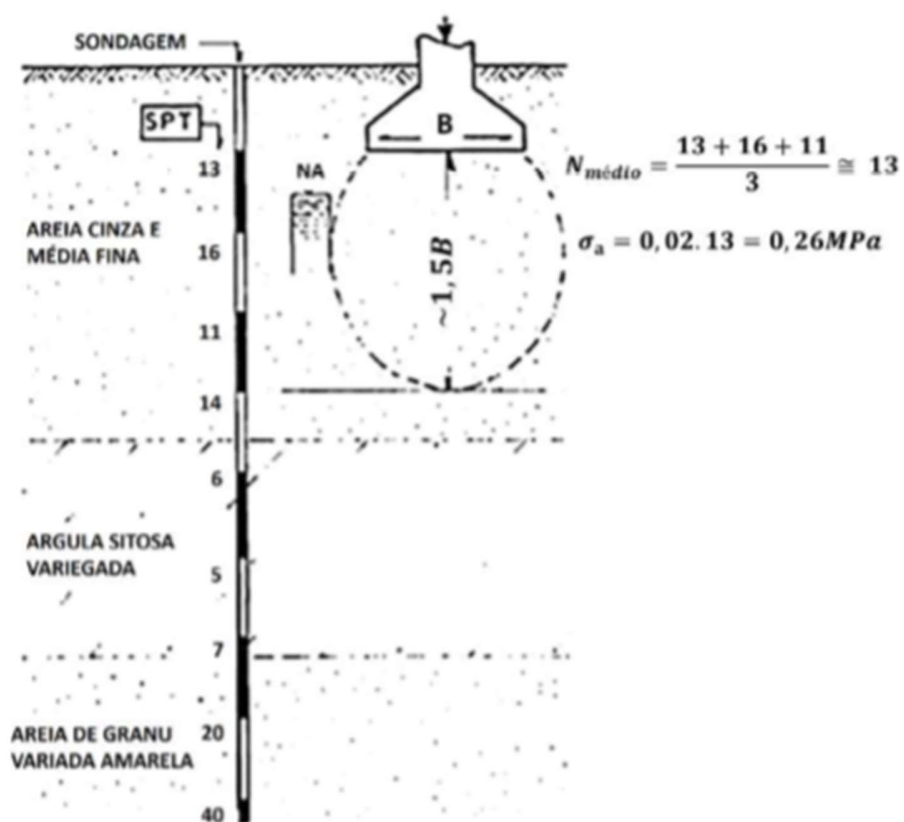
#### 2.4.1.2 Método Semi-Empírico para Estimativa da Tensão Admissível

Segundo Hachich et al. (1998), é possível estimar a tensão admissível ( $\sigma_{adm}$ ) do solo, em MPa, para fundações superficiais por meio do valor da resistência a penetração ( $N_{SPT}$ ) como descrito na equação (2):

$$\sigma_{adm} = 0,02 N_{spt} \text{médio} \quad (2)$$

Onde o  $N_{SPT} \text{médio}$  é o valor médio da resistência a penetração da camada de solo que se encontra dentro do bulbo de tensões, definido para uma sapata, conforme apresentado na Figura 16.

Hachich et al. (1998) mencionam ainda que a equação (2) é válida para qualquer solo natural, desde que o mesmo apresente  $N_{SPT}$  entre 5 e 20. A delimitação desse intervalo procura evitar o emprego de fundações superficiais em solos fofos ou moles, cujo  $N_{SPT}$  é inferior a 5, e limitar a tensão máxima admissível ( $\sigma_{adm}$ ) em 0,4 Mpa, para que valores mais elevados ( $N_{SPT} > 20$ ) sejam adotados apenas com ensaios complementares.

Figura 16 - Estimativa do  $N_{SPT}$  médio.

Fonte: Hachich et al. (1998)

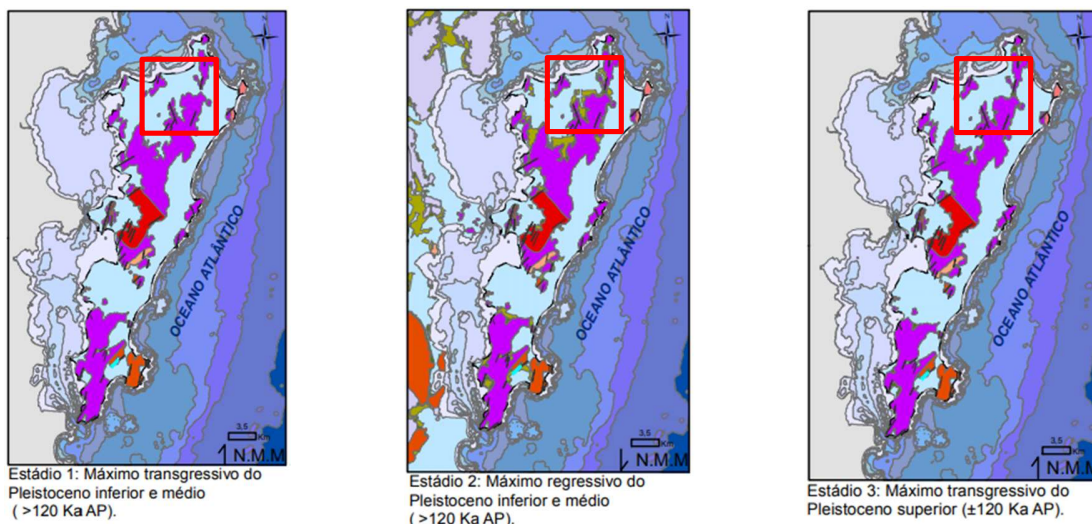


### 3 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Papaquara, uma das sub-bacias que compõe a Bacia do Rio Ratonos. Localizada na região norte da Ilha de Santa Catarina, no município de Florianópolis-SC, possui aproximadamente 30,65 km<sup>2</sup> de área, abrangendo os distritos de Canasvieiras, Cachoeira de Bom Jesus, Ratonos e Santo Antônio de Lisboa (Figura 19). De acordo com o Modelo Digital do Terreno (MDT) apresentado também na Figura 19, observa-se que a maior parte da área é plana e estão situadas a baixas altitudes (até 10 m). Nas áreas de encosta a altitude máxima chega a 434m.

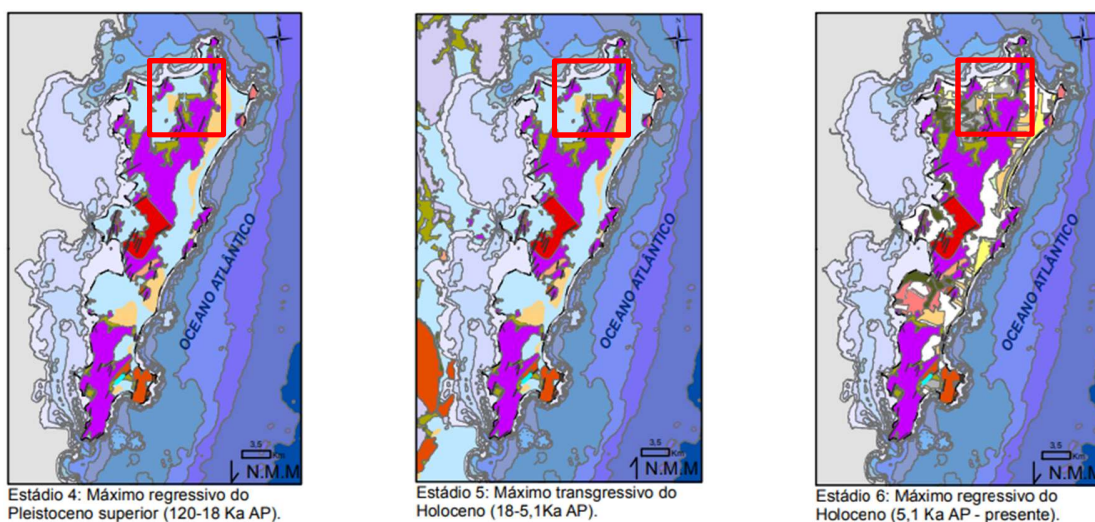
Quanto a geologia, a bacia apresenta dois compartimentos: os depósitos sedimentares e o embasamento. Os depósitos sedimentares formaram-se principalmente a partir de processos de transgressões e regressões dos mares, como pode ser observado nas Figura 17 e Figura 18, ao longo do Período Quaternário e localizam-se nas planícies e sopé das encostas. Segundo o IBGE (1997b), os depósitos de planície são formados principalmente por sedimentos de baías e lagunas, que compreendem areias siltico-argilosas inconsolidadas, com coloração em tons de cinza, frequentemente ricas em matéria orgânica e de caráter fluvio-lagunar. Além disso, é possível encontrar depósitos de sedimentos marinho litorâneos, eólicos trabalhados e colúvio-aluvionares. Os depósitos de origem colúvio-aluvionares, se caracterizam por apresentarem grande variação granulométrica, serem inconsolidados e estratificação incipiente ou ausente. Já em relação ao embasamento, é formado principalmente pelo granito Ilha, caracterizado pela cor rosada, textura equigranular grossa, pertencente ao grupo Suíte Pedras Grande (IBGE, 1997a).

Figura 17 - Mapas geoevolutivos da Ilha de Santa Catarina.



Fonte: Horn Filho e Livi (2013).

Figura 18 - Mapas geoevolutivos da Ilha de Santa Catarina.



Fonte: Horn Filho e Livi (2013).

A sua pedologia é formada predominantemente por Argissolos vermelho-amarelo e Cambissolos háplicos, nas áreas de encostas, e por Gleissolos háplicos e depósitos de Neossolos quartzarênicos, Organossolos e solos de mangue, nas regiões de planície (IBGE, 1997c).

Os Argissolos vermelho-amarelos, são solos não hidromórficos, com um horizonte B de cor vermelho-amarelada e possuem um gradiente textural. Já os cambissolos háplicos são

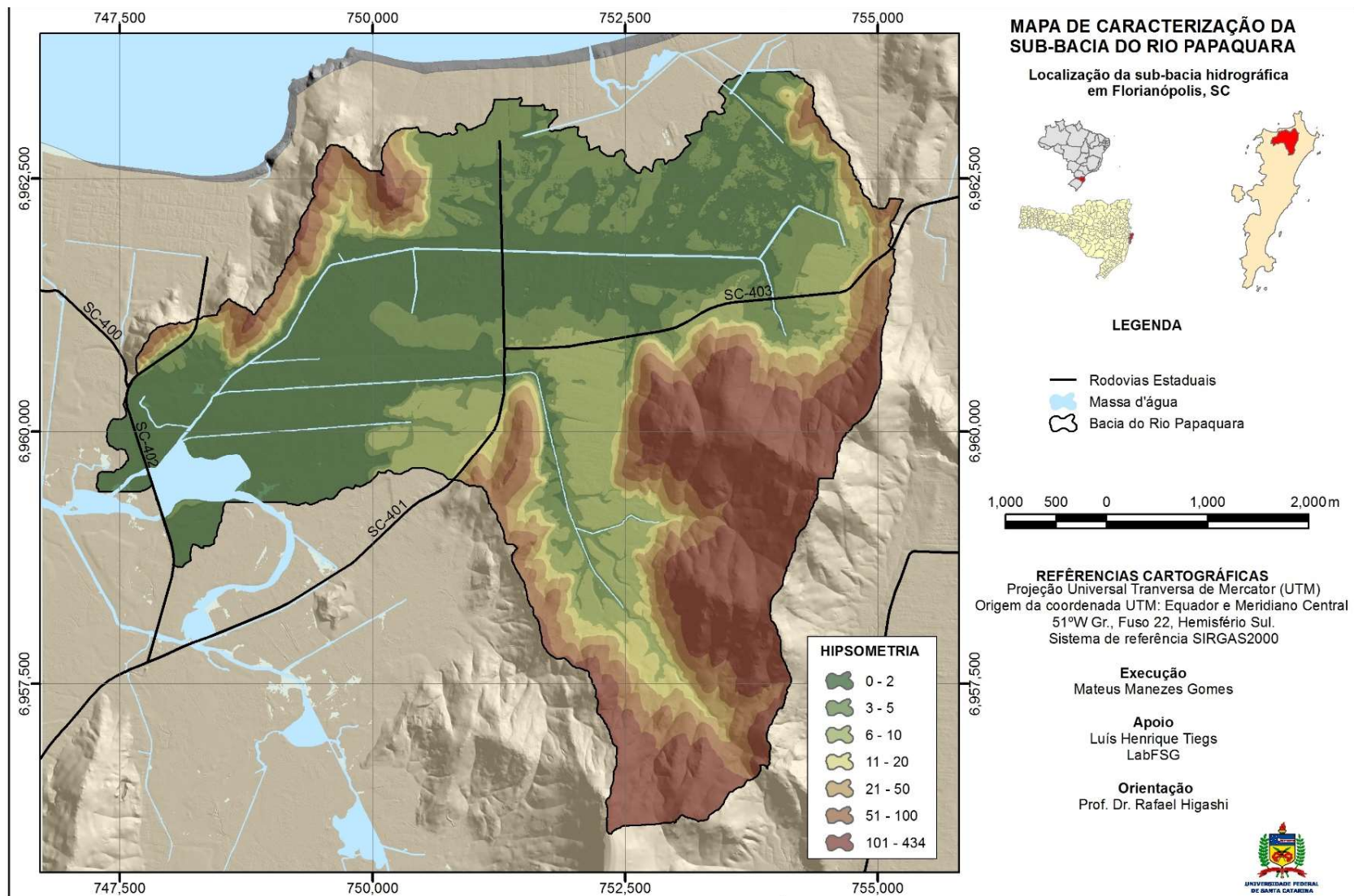
caracterizados por possuir um horizonte B incipiente. (EMBRAPA, 2006) Ambos são solos residuais, que se distinguem-se por permanecerem na rocha de origem, observando uma transição gradual do solo até a rocha. (CAPUTO, 1998).

Os Gleissolos háplicos são solos hidromórficos, de textura argilosa ou argilo-arenosa, caracterizados pela coloração acinzentada. Os Neossolos quartzarênicos, são solos constituídos essencialmente por grãos de quartzo com granulometria arenosa (EMBRAPA, 2006). Tratam-se de solos sedimentares, ou seja, solos que sofreram a ação de agentes transportadores (CAPUTO, 1998).

A vegetação da área é formada por Mata Atlântica, ou Floresta ombrófila densa das terras baixas, Gramíneas, ou Vegetação com influência fluvial e lacustre herbácea sem palmeiras. A antropização de algumas áreas levou a descaracterização da paisagem dessas formações originais, reduzindo-as pequenas pastagens ou terrenos de cultivo. (IBGE, 1997e)

A ocupação da região iniciou-se em meados do século XVIII no processo de fortificação da ilha, uma importante posição estratégica para Coroa Portuguesa defender os seus domínios no Brasil meridional. Atualmente, o crescimento acelerado e desordenado, trouxe inúmeros problemas, dentre eles a qualidade ambiental da bacia. Detalhes do processo de ocupação antrópica podem ser encontrados em David (2004).

Figura 19 - Mapa de caracterização da sub-bacia do Rio Papaquara.



Fonte: Autor (2018).

A caracterização geotécnica da área de estudos deu-se a partir do mapa elaborado por Santos (1997). A Figura 20 apresenta as dez unidades geotécnicas presentes na bacia do Rio Papaquara. Nas áreas de planície são encontradas as seguintes unidades geotécnicas: Gsq, AQrd, HOsq e SMsq.

A seguir seguem as principais características das unidades presentes na bacia:

AQrd – Areais quartzosas (Neossolo quartzarênico na nova nomenclatura) das rampas de dissipação, são dunas pleistocênicas que apresentam certo grau de cimentação no estado natural devido a presença de óxidos de ferro, ocorre na transição de morros e planícies.

Cde – Cambissolos com substrato de depósitos de encosta., horizonte B pouco desenvolvido, ocorre na transição entre o morro e a planície;

Cg – Cambissolos com substrato granito, horizonte B incipiente e horizonte C bastante intemperizado, forte incidência de matacões, ocorre numa topografia bastante íngreme;

Gsq – Gleissolos com substrato sedimentos quaternários, solos hidromórficos e com camadas de textura siltico-argilosas intercaladas com camadas de textura arenosa, ocorrendo no contorno das planícies de inundação;

HOsq – Solos orgânicos com substrato de sedimentos quaternários, ocorre em relevo plano;

PVg – Solos podzólicos vermelho-amarelo (Argissolo vermelho-amarelo na nova nomenclatura) com substrato granito, horizonte B de cores vermelhas e textura argilosa, ocorre num relevo forte ondulado a ondulado;

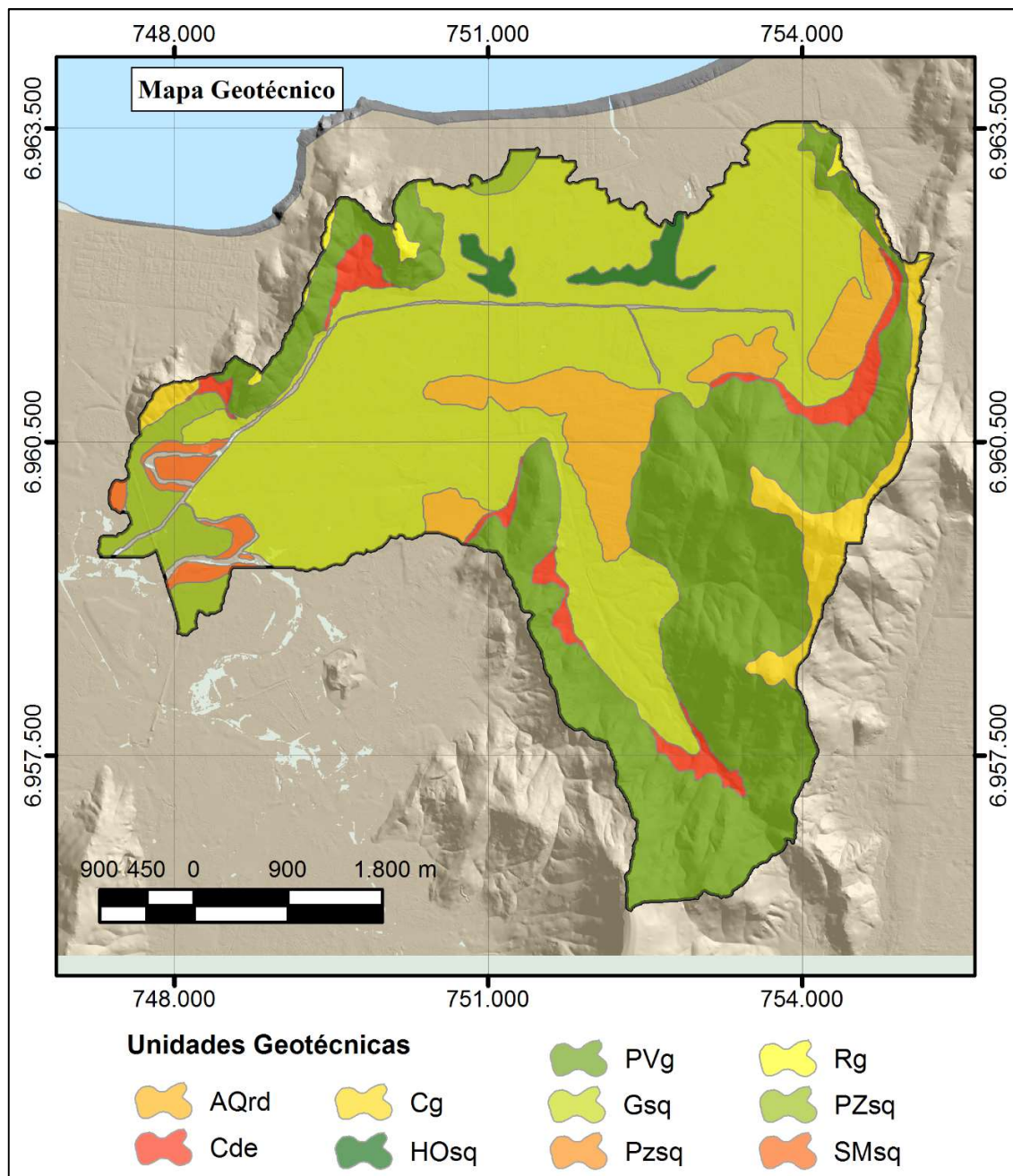
PZsq – Solos podzólicos (Argissolos na nova nomenclatura) com substrato de sedimentos quaternários, solos hidromórficos e com textura arenosa, ocorre em relevos planos;

Rg – Solos litólicos com substrato granito presente em relevos montanhosos;

SMsq – Solos indiscriminados de mangue com substrato de sedimentos quaternários; ocorre em relevo plano.



Figura 20 - Mapa geotécnico da bacia do Rio Papaquara.

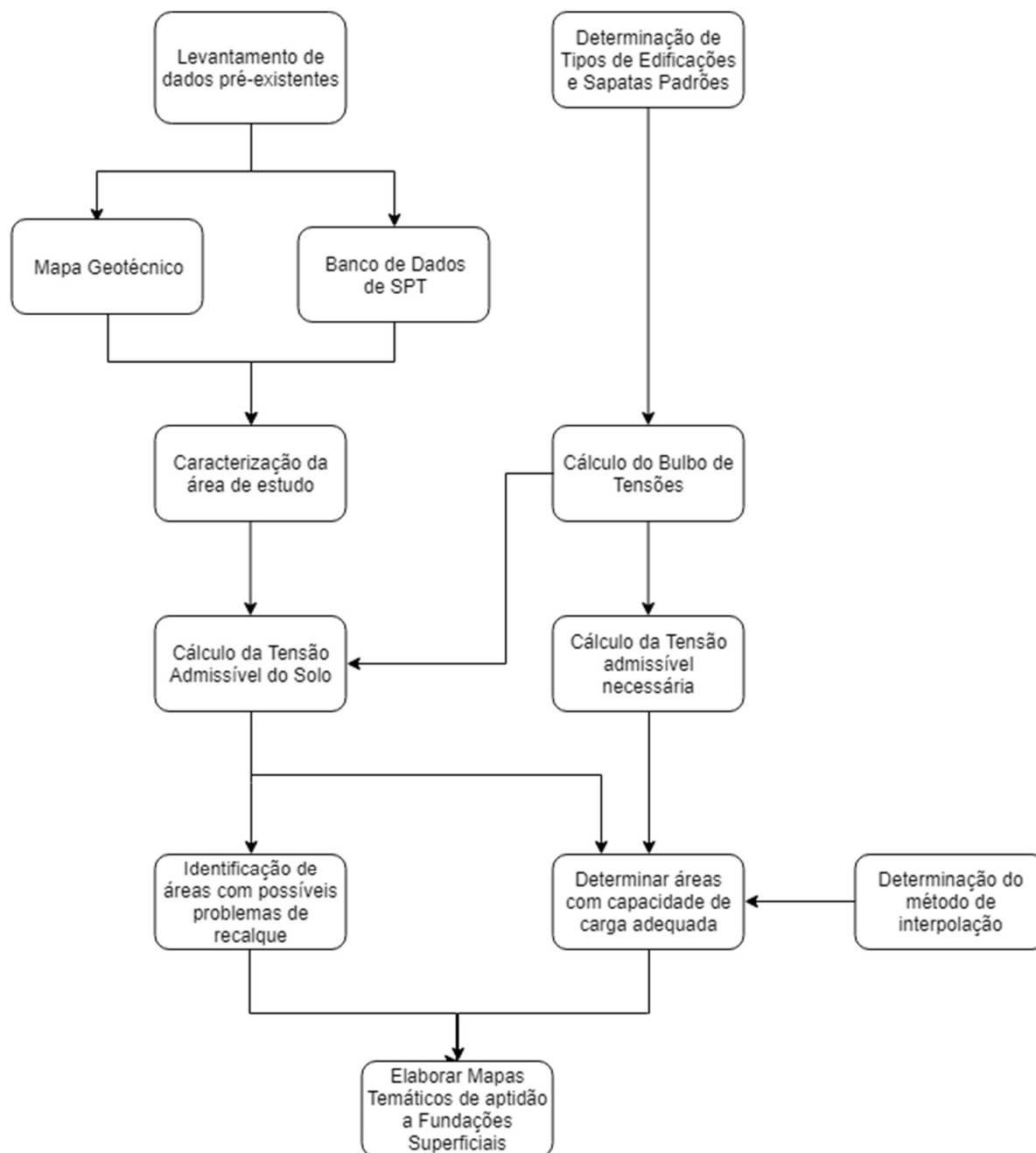


Fonte: Adaptado de Santos (1997).

#### 4 MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo tem a finalidade de apresentar os materiais e o método utilizados no presente estudo, que seguem, de forma sucinta, o exposto na Figura 21.

Figura 21 - Fluxograma do presente estudo.



Fonte: Autor (2018).

#### 4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS PREEXISTENTES

Para este estudo foram utilizados dados pré-existentes, abrangendo mapas e um banco de dados de sondagem SPT, os quais foram empregados na caracterização da área de estudos e para atingir os objetivos propostos.

##### 4.1.1 Mapas

Foi empregado o modelo digital de terreno (MDT) na caracterização da área de estudos, o qual foi cedido pela Secretária de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SDS) em escala 1:10.000.

Também na caracterização da área de estudos e na delimitação da unidade geotécnica de análise, foi empregado o mapa geotécnico da Ilha de Santa Catarina, elaborado por Santos (1997), através da metodologia de Dias (1995) e posteriormente atualizado por Duarte (1999) e Christ (2014). Nele são individualizadas as unidades geotécnicas presentes no município de Florianópolis na escala 1:50.000.

##### 4.1.2 Dados de SPT

Os dados de SPT foram obtidos junto ao Laboratório de Mapeamento Geotécnico (LAMGEO) da UFSC, disponibilizado na forma de um banco de dados georreferenciado. Observa-se que a elaboração do banco de dados pela equipe do LAMGEO foi realizada a partir de boletins de sondagens cedidos por empresas privadas do município de Florianópolis, com base nas coordenadas dos pontos e/ou fotointerpretação do local baseada nos endereços, utilizando como mapa base a ortofoto da Ilha de Santa Catarina.



## 4.2 Determinação das Edificações e Sapatas

As cargas e as dimensões das sapatas foram determinadas com o auxílio de um especialista da área de fundações. Juntamente com esse profissional, definiu-se que a carga média de uma edificação residencial, com vãos entre 4 e 5 m, seria em torno de 10 kN/m<sup>2</sup>. Deste modo, foram definidas as seguintes cargas e respectivas sapatas para o presente estudo:

- Carga de 200 kN aplicada em uma sapata quadrada de dimensões 1,0 m x 1,0 m, representando uma edificação residencial térrea com apenas um pavimento, denominada de “Edificação 1”;
- Carga de 500 kN aplicada em uma sapata quadrada de dimensões 1,6 m x 1,6 m, representando uma edificação residencial com três pavimentos (pavimento térreo, um superior e uma cobertura), denominada de “Edificação 2”;
- Carga de 1000 kN aplicada em uma sapata quadrada de dimensões 2,3 m x 2,3 m, representando uma edificação residencial com quatro pavimentos (pavimento térreo, dois pavimentos tipos e uma cobertura), denominada de “Edificação 3”.

O Quadro 3 apresenta de forma resumida os tipos de edificações, suas respectivas cargas e sapatas adotadas nesse estudo. Observa-se que todas as sapatas foram consideradas como isoladas, não havendo, portanto, nenhuma sobreposição dos bulbos de tensões.

Quadro 3 - Características das sapatas.

Tipo de Edificação	Carga (kN)	Sapata	
		Dimensão (mxm)	Denominação
Edificação 1	200	1,0 x 1,0	Sapata 1
Edificação 2	500	1,6 x 1,6	Sapata 2
Edificação 3	1000	2,3 x 2,3	Sapata 3

Fonte: Autor (2018).

## 4.3 DETERMINAÇÃO DO $N_{SPT}$ MÉDIO PARA OS PONTOS DE SONDAGEM

### 4.3.1 Profundidade do Bulbo de Tensões (Z)

Para determinar a profundidade do bulbo de tensões (Z) para cada uma das sapatas propostas, adotou-se o método de Cintra, Aoki e Albiero (2011), conforme descrito no item

2.4.1.1, onde  $Z$ , em metros, corresponde a  $2B$  para sapatas quadradas. Sendo que  $B$  representa a maior dimensão da sapata. Nesse estudo, destaca-se que o valor de  $Z$  foi arredondado para o número inteiro mais próximo (Zadotado), para que se tenha um valor correspondente de  $N_{SPT}$ , visto que o cálculo das tensões admissíveis segue Hachich et al. (1998), conforme mencionado no item 2.4.1.2.

O Quadro 4 apresenta as profundidades de  $Z$  para cada uma das sapatas propostas, sendo que, nos cálculos foram considerados os valores de Zadotado.

Quadro 4 - Profundidade dos bulbos de tensões.

Sapatas	Dimensão B x L (mxm)	Z (m)	Zadotado (m)
Sapata 1	1,0 x 1,0	2	2
Sapata 2	1,6 x 1,6	3,2	4
Sapata 3	2,3 x 2,3	4,6	5

Fonte: Autor (2018).

#### 4.3.2 Tensão Admissível ( $\sigma_{adm}$ )

A tensão admissível ( $\sigma_{adm}$ ) que o solo deve apresentar para que não ocorra ruptura a partir da aplicação das cargas correspondente as edificações propostas, deve ser igual ou maior que a tensão aplicada no solo, calculada pela Equação ((1), citada anteriormente no item 2.4

$$\sigma_{adm} = \sigma = \frac{P}{BL} \quad (1)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão admissível

$P$  = carga aplicada na sapata

$B$  = largura da base da sapata

$L$  = comprimento da base da sapata

Para a Sapata 1, onde P é igual a 200kN e B e L são iguais a 1 m, tem-se uma tensão admissível ( $\sigma$ ) igual a 0,2 MPa. Da mesma forma foram calculadas as tensões admissíveis para as demais cargas estipuladas, conforme apresentado do Quadro 5.

Quadro 5 - Tensão admissível para que não ocorra a ruptura do solo.

Sapata	Dimensão (mxm)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga (kN)	$\sigma_{adm}$ (MPa)
Sapata 1	1,0x1,0	1,00	200	0,200
Sapata 2	1,6x1,6	2,56	500	0,195
Sapata 3	2,3x2,3	5,29	1000	0,189

Fonte: Autor (2018).

#### 4.3.3 Cálculo da Tensão Admissível do Solo

Com o intuito de determinar o valor do  $N_{SPT}$  médio que o solo deve apresentar, dentro do bulbo de tensões, para satisfazer as tensões admissíveis calculadas no Quadro 5, empregou-se a Equação (2) de Hachich et al. (1998), descrita no item 2.4.1.2 e já utilizada em trabalhos similares desenvolvidos por Thiesen (2016) e Souza (2016), conforme apresentado a seguir.

$$\sigma_{adm} = 0,02 N_{spt} \text{médio} \quad (2)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão admissível em MPa

$N_{SPT}$ médio = média dos  $N_{SPT}$  dentro do bulbo de tensões

Isolando a variável  $N_{SPT}$ médio na equação (2), tem-se a equação (3):

$$N_{spt} \text{médio} = \frac{\sigma_{adm}}{0,02} \quad (3)$$

Na equação (3) igualando a tensão admissível ( $\sigma_{adm}$ ) com aquelas tensões apresentadas no Quadro 5, tem-se o valor do  $N_{SPT}$ médio que o solo deve apresentar, dentro do bulbo de tensões para atender cada uma das solicitações impostas nesse estudo (Quadro 6).

Quadro 6 -  $N_{SPT}$  médio que o solo deve apresentar para atender as solicitações impostas

Sapatas	Tensão (MPa)	$N_{SPT}$ médio
Sapata 1	0,200	10,00
Sapata 2	0,195	9,77
Sapata 3	0,189	9,45

Fonte: Autor (2018).

Como as tensões e  $N_{SPT}$  médios requeridos pelas sapatas foram próximos, foi adotado uma tensão única de 0,2 MPa, e por consequente um único  $N_{SPT}$  médio maior que 10, para as três sapatas, a fim de facilitar as análises.

Na sequência buscou-se junto ao banco de dados de SPT, disponibilizados pela equipe do LAMGEO, os pontos de SPT localizados na bacia do Rio Papaquara que apresentassem valores de  $N_{SPT}$  médio maiores que 10, em profundidades específicas, definidas de acordo com o bulbo de tensões de cada sapata e considerando diferentes quotas de assentamento.

Em relação a profundidade de assentamento das sapatas, levou-se em consideração que as fundações superficiais não são economicamente viáveis quando apoiadas em profundidades superiores a 2 m (REBELLO, 2011). Dessa forma, para as sapatas 1 e 2 foram consideradas profundidades de assentamento de 1 e 2 m e para a sapata 3 foram consideradas profundidades de assentamento de 1, 2, 3 e 4m, prevendo a existência de um possível subsolo nessa última edificação.

Para a Sapata 1, com B e L iguais a 1,0 m, os cálculos foram realizados segundo o exemplo apresentado a seguir.

Informações do ponto de sondagem SPT denominado de “I01” no banco de dados:

Ponto: I01

$$N_{SPT 1} = 2$$

$$N_{SPT 2} = 2$$

$$N_{SPT 3} = 13$$

$$N_{SPT 4} = 13$$

Onde  $N_{SPT 1}$  corresponde ao valor de  $N_{SPT}$  da camada 1

Apoiando a Sapata 1 a 1 m de profundidade, ou seja, sobre a camada  $N_{SPT 2}$  tem-se Z igual a 2m, logo o  $N_{SPT}$  médio é calculado da seguinte forma:

$$N_{spt}médio = \frac{Nspt\ 2 + Nspt\ 3}{2}$$

Para atingir a tensão mínima necessária de 0,2 MPa, o solo precisaria ter um  $N_{SPT}$  igual a 10, portanto, o solo do ponto “I01” não é apto para suportar a carga imposta pela sapata 1 na profundidade de assentamento igual a 1m, sendo assim classificado (inapto).

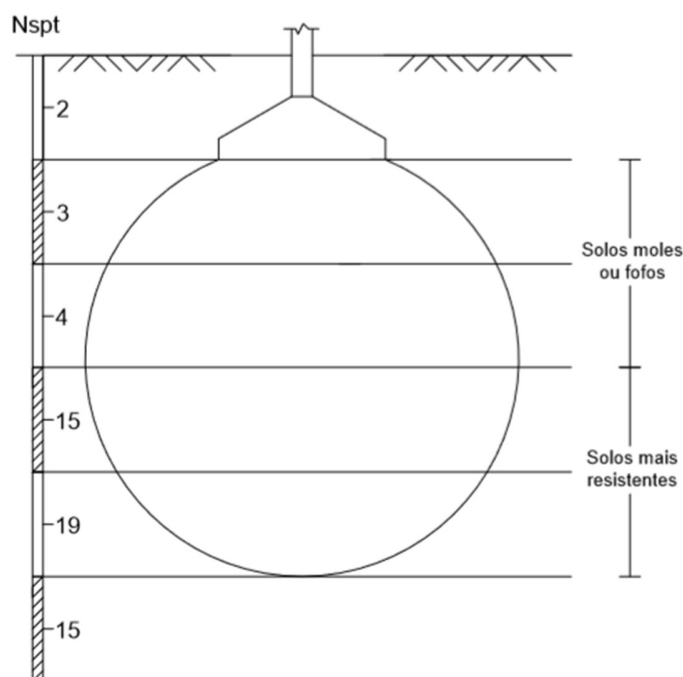
Por sua vez, apoiando a Sapata 1 a 2 m de profundidade obtém-se  $N_{SPT}médio$  igual a 13, conforme apresentado a seguir. Nesse caso, o solo do ponto “I01” é apto para suportar a carga imposta pela sapata 1 na profundidade de assentamento igual a 2m, sendo assim classificado (apto).

$$N_{spt}médio = \frac{Nspt\ 3 + Nspt\ 4}{2}$$

Então o solo é apto para suportar a sapata 1 na profundidade de 2m.

Da mesma forma foram realizados os cálculos para as sapatas 2 e 3, variando a quota de assentamento da sapata e empregando o valor de Z adequado para cada caso. Foram realizados os referidos cálculos para cada ponto de SPT contido no banco de dados. Também foi verificada a ocorrência de camadas de solos moles ou fofos, ( $N_{SPT} < 5$ ) dentro do bulbo de tensões (Figura 22), com o intuito de identificar possíveis problemas relacionados a recalques. Dessa forma, os pontos de SPT classificados como aptos que, no entanto, apresentaram valores de  $N_{SPT}$  inferiores a 5 dentro do bulbo foram classificados como inaptos por recalque.

Figura 22 - Camada de solos moles ou fofos dentro do bulbo de tensões.



Fonte: Autor (2018).

#### 4.4 Elaboração dos mapas temáticos

Os mapas temáticos foram elaborados com auxílio do *software* Arcgis, versão 10.5, empregando a técnica de interpolação, com o intuito de individualizar as áreas aptas e não aptas à construção de 3 diferentes tipos de edificações, cujas fundações são do tipo superficial.

Todos os mapas foram gerados foram devidamente registrados ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000), com sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22, Hemisfério Sul.

##### 4.4.1 Método de Interpolação

Na interpolação dos dados, foram utilizados 35 pontos de SPT do banco de dados, 17 localizados dentro da bacia Papaquara e na unidade geotécnica Gsq (escolhida para análise em função da maior quantidade de pontos de SPT, em relação as demais unidades presentes na bacia) e os demais localizados próximos a área de estudos (Figura 23) a fim de minimizar erros

de borda. O Quadro 7 apresenta o número de pontos em cada unidade geotécnica presente na bacia em estudo.

Além disso, foram empregados 11 pontos de avaliação com o intuito de auxiliar a decisão do método interpolador, ou seja, identificar em qual superfície gerada os valores interpolados mais se aproximaram dos valores contidos no perfil de sondagem dos pontos de avaliação. Observa-se que todos os pontos foram selecionados baseando-se na sua proximidade com a área de estudos e por apresentarem características como: pertencerem a unidade geotécnica Gleiossolos com substrato sedimentos quaternários (Gsq e/ou altitude de até 2 metros.

Quadro 7 - Distribuição dos pontos nas unidades geotécnicas.

Unidade Geotécnica	Nº de Pontos	% do Total
Gsq	17	80,95%
AQrd	2	9,52%
H0sq	1	4,76%
SMSq	1	4,76%
Total	21	100,00%

Fonte: Autor (2018).

Foram elaborados três mapas para testar três métodos de interpolação distintos, sendo esses: *Spline*, IDW e o Vizinho Natural. Nessa etapa foram gerados mapas somente para a sapata 1 (sapata quadrada de 1,0 x 1,0m) com profundidade de assentamento igual a 1m. Os dados de entrada para cada um dos métodos estão apresentados no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

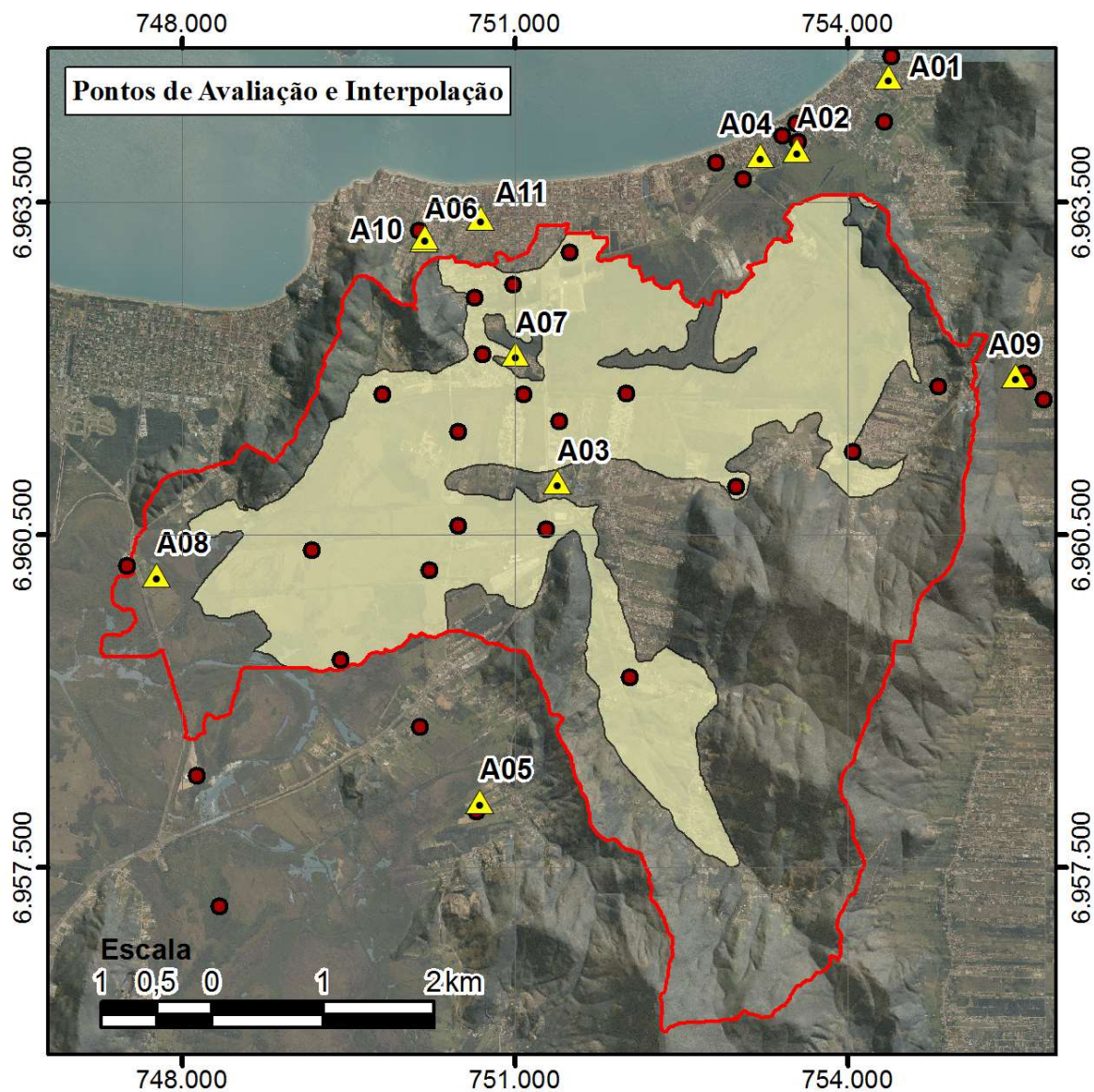
Quadro 8 - Dados de Entrada para os diferentes métodos interpoladores.

Dados de Entrada	IDW	Spline	Vizinho Natural
Pixel	50	50	50
Potência	3	0,1	-
Tipo de Spline	-	Regularizada	-
Raio de pesquisa	Fixo	-	-
Distância	1000 m	-	-
Nº mín de Pts	4	4	-

Fonte: Autor (2018).

A escolha do método de interpolação deu-se através da comparação entre os mapas gerados e os pontos de avaliação.

Figura 23 – Mapa com os pontos utilizados para a interpolação e avaliação.



#### Legenda

- Pontos de Interpolação
- ▲ Pontos de Avaliação
- ⬭ Bacia do Rio Papaquara
- ⬭ Unidade Gsq

Fonte: Autor (2018).



## 5 Resultados

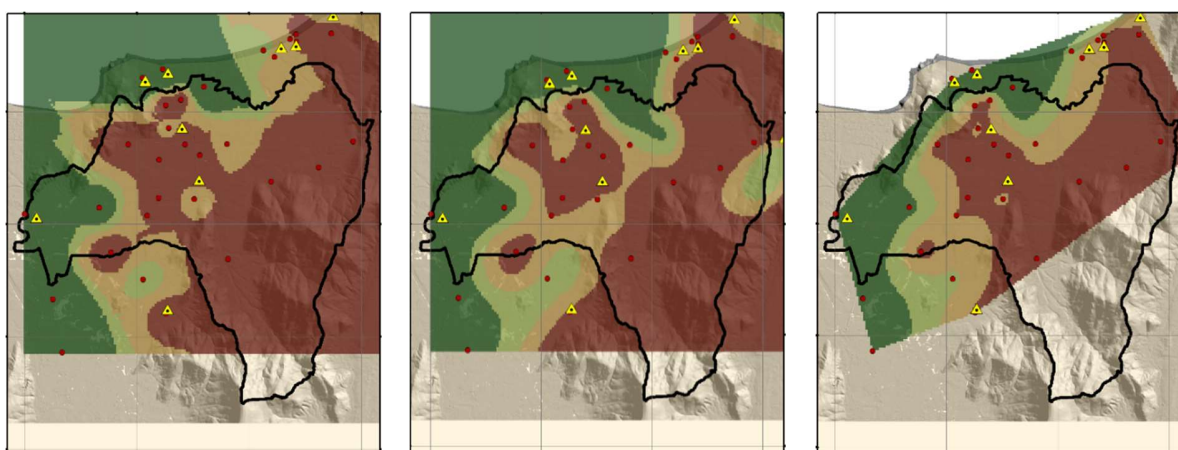
Nesse capítulo serão apresentados os resultados obtidos neste estudo, estruturados da seguinte forma:

- i. comparação entre os métodos de interpolação;
- ii. análise pontual;
- iii. mapas de aptidão;
  - a. a execução de sapatas de: 1,0 m x 1,0 m;
  - b. a execução de sapatas de: 1,6 m x 1,6 m;
  - c. a execução de sapatas de: 2,3 m x 2,3 m.

### 5.1 Comparação entre métodos de interpolação

A Figura 24 apresenta os mapas gerados a partir dos métodos de interpolação IDW, Spline e Vizinho Natural, utilizando os dados de  $N_{SPT}$  médio calculados para a Sapata 1 com profundidade de assentamento igual a 1m. Sobrepostos à eles encontram-se os pontos de SPT empregados na interpolação e os pontos de avaliação.

Figura 24 - Comparativo entre interpoladores: IDW (esq), Spline (centro) e Vizinho Natural (dir).



Fonte: Autor (2018).

Como pode ser observado na Figura 24, a distribuição dos pontos disponíveis para a interpolação dos dados não cobriu toda a área da bacia Papaquara. Também se observa que os

pontos não se encontram bem distribuídos, o que é justificado pelo fato de que os dados foram obtidos de ensaios já realizados, que se concentram em áreas de expansão urbana.

Além disso, em função da pouca quantidade de dados a escolha dos pontos de avaliação foi dificultada, sendo selecionados aqueles próximos aos pontos empregados na interpolação, que, algumas vezes pertenciam a outras unidades geotécnicas, onde espera-se que o subsolo apresente características geotécnicas distintas. Também com base na Figura 24 pode-se verificar que a partir do método de interpolação Vizinho Natural os dados gerados compreenderem uma menor área da bacia, limitando dessa forma a análise dos resultados.

Comparando os valores das superfícies geradas com os dos pontos de avaliação, conforme os dados apresentados no Quadro 9, foi definido o método que mais aproximou dos valores de  $N_{SPT}$  médio das superfícies dos pontos de avaliação. Como pode ser observado, o Spline apresentou os menores valores de  $\Delta$  (que representa a diferença entre os valores dos pontos de avaliação e dos mapas gerados). Sendo assim, para o presente caso, foi considerado como o de menor variação sendo escolhido para a interpolação dos dados e elaboração dos mapas de aptidão do presente estudo.

Quadro 9 - Comparação entre interpoladores.

Pontos de Avaliação		IDW		Spline		Vizinho Natural	
ID	SP1_1m	SP1	$\Delta$	SP1	$\Delta$	SP1	$\Delta$
A01	2,5	7,7	-5,2	6,4	-3,9	6,8	-4,3
A02	7,5	4,6	2,9	4,6	2,9	4,9	2,6
A03	23,5	3,8	19,7	2,6	20,9	3,9	19,6
A04	2,0	7,1	-5,1	7,7	-5,7	7,4	-5,4
A05	0,0	4,0	-4,0	4,5	-4,5	4,1	-4,1
A06	4,5	26,9	-22,4	22,3	-17,8	24,0	-19,5
A07	28,5	4,4	24,1	3,2	25,3	4,7	23,8
A08	26,5	30,8	-4,3	28,7	-2,2	28,5	-2,0
A09	0,0	0,3	-0,3	1,2	-1,2	0,2	-0,2
A10	4,0	27,0	-23,0	24,4	-20,4	25,3	-21,3
A11	27,5	31,8	-4,3	27,7	-0,2	30,5	-3,0

Fonte: Autor (2018).

ID – identificação do ponto;

SP1\_1m – Resultado do  $N_{SPT}$  médio calculado para a Sapata 1 apoiada a 1m de profundidade;

SP1 – Resultado do  $N_{SPT}$  médio interpolado para a Sapata 1 apoiada a 1m de profundidade;

$\Delta$ (Delta) – variação entre o SP1\_1m e SP1.

Observa-se ainda, a partir do Quadro 9, que os pontos A03, A06, A07 e A10 apresentaram uma maior variação entre os dados, que pode ser justificada pelo fato de que os pontos de avaliação estão situados em outras unidades geotécnicas, que apresentam características distintas dos dados interpolado da unidade Gsq.

## 5.2 Análise Pontual dos Dados

Os pontos de SPT presentes na unidade Gsq, da bacia do Rio Papaquara, conforme mencionado anteriormente, foram classificados para cada uma das situações de carregamento e tipo de sapata em: aptos, inaptos e inaptos por recalque, o que possibilitou uma análise pontual dos solos antes da interpolação dos dados. Os resultados dessas análises estão apresentados nos Quadro 10, Quadro 11 e Quadro 12, respectivamente para as edificações do tipo 1, 2 e 3.

Quadro 10 - Classificação de aptidão dos solos para Edificação 1

Edificação 1				
Classificação	Prof. = 1 m		Prof. = 2 m	
	Nº de Pts	%	Nº de Pts	%
Apto	2	11,76%	2	11,76%
Inapto	15	88,24%	15	88,24%
Inapto por Recalque	0	0,00%	0	0,00%

Fonte: Autor (2018).

Quadro 11 - Classificação de aptidão dos solos para Edificação 2

Edificação 2				
Classificação	Prof. = 1 m		Prof. = 2 m	
	Nº de Pts	%	Nº de Pts	%
Apto	2	11,76%	2	11,76%
Inapto	15	88,24%	15	88,24%
Inapto por Recalque	0	0,00%	0	0,00%

Fonte: Autor (2018).

Quadro 12 - Classificação de aptidão dos solos para Edificação 3

Edificação 3								
Classificação	Prof. = 1 m		Prof. = 2 m		Prof. = 3 m		Prof. = 4 m	
	Nº de Pts	%	Nº de Pts	%	Nº de Pts	%	Nº de Pts	%
Apto	2	11,76%	2	11,76%	5	29,41%	4	23,53%
Inapto	15	88,24%	13	76,47%	5	29,41%	5	29,41%
Inapto por Recalque	0	0,00%	2	11,76%	7	41,18%	8	47,06%

Fonte: Autor (2018).

Como pode ser observado, no Quadro 10 e no Quadro 11, os resultados para as edificações 1 e 2 não variaram, em ambos a grande maioria dos pontos de SPT (aproximadamente 88%) foram classificados como não aptos, o que representa que o subsolo, nas profundidades entre 1 e 6 m, não tem capacidade de suporte suficiente para suportar as cargas aplicadas.

Nessas duas edificações, o fato de que os resultados foram similares pode ser explicado em virtude de que, apesar do aumento da carga de 200 kN (edificação 1) para 500 kN (edificação 2), houve um aumento proporcional das dimensões da sapata, o que resultou em uma tensão admissível bastante semelhante (0,2 MPa e 0,195 MPa, respectivamente para a edificação 1 e 2). Também evidenciou que o solo até a profundidade de 6 m (correspondente a maior profundidade do bulbo de tensões para a edificação 2) não encontrou camadas de solos mais resistentes, não alterando assim o resultado final.

Em relação a edificação 3, conforme Quadro 12, ocorreu uma diminuição significativa do número de SPTs não aptos ( $N_{SPT} < 10$ ) ao longo da profundidade, o que evidencia o aumento da resistência das camadas do subsolo. Na quota de assentamento de 3 m e 4 m de profundidade, a tensão admissível para que o solo pudesse suportar a carga referente a edificação 3, foi atingida em aproximadamente 71% dos pontos. Apesar disso, nessas profundidades, há a ocorrência significativa de pontos não aptos em função da presença de camadas de solos moles ou fofos intercaladas com camadas de solos mais resistentes, o que pode ocasionar problemas relacionados ao recalque.

A presença de problemas relacionados a recalques era esperada na unidade geotécnica Gsq, visto que é formada por solos transportados, pela deposição de sedimentos de origem lagunar e de baías, caracterizando solos de baixa resistência e com propriedades diversificadas.

### 5.3 Mapas de Aptidão para sapatas superficiais

Foram elaborados oito mapas de aptidão à utilização de fundações superficiais, simulando situações específicas de carregamentos (3 edificações distintas), dimensões de sapatas isoladas e quotas de assentamento, analisando o subsolo da unidade Gsq da bacia do Rio Papaquara (Quadro 13). Para tanto, pontos de SPT de um banco de dados foram interpolados a partir do método Spline.

Quadro 13 - Identificação dos mapas temáticos

Edificação	1		2		3			
Carga	200 kN		500 kN		1000 kN			
Sapata	1,0 m x 1,0 m		1,6 m x 1,6 m		2,3 m x 2,3 m			
Bulbo de Tensões (Z)	2m		4 m		5 m			
Profundidade	1 m	2 m	1 m	2 m	1 m	2 m	3 m	4 m
Mapa	1	2	3	4	5	6	7	8

Fonte: Autor (2018).

Como as edificações 1 e 2 são de pequeno porte, seguiu-se a recomendação de Rebello (2011) e adotaram-se quotas de assentamento das sapatas de 1 e 2 m, e, dessa forma, foram elaborados os mapas de aptidão apresentados na Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28. Para a edificação 3, seguindo-se a sugestão de Thiesen (2016), sendo elaborados mapas adotando profundidades de assentamento maiores para representar a possível presença de um subsolo na edificação. Sendo assim, foram elaborados os mapas da Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32 que adotaram, respectivamente, quotas de assentamento de 1m, 2m, 3m e 4 m.

### Mapas de aptidão para construção da edificação 1

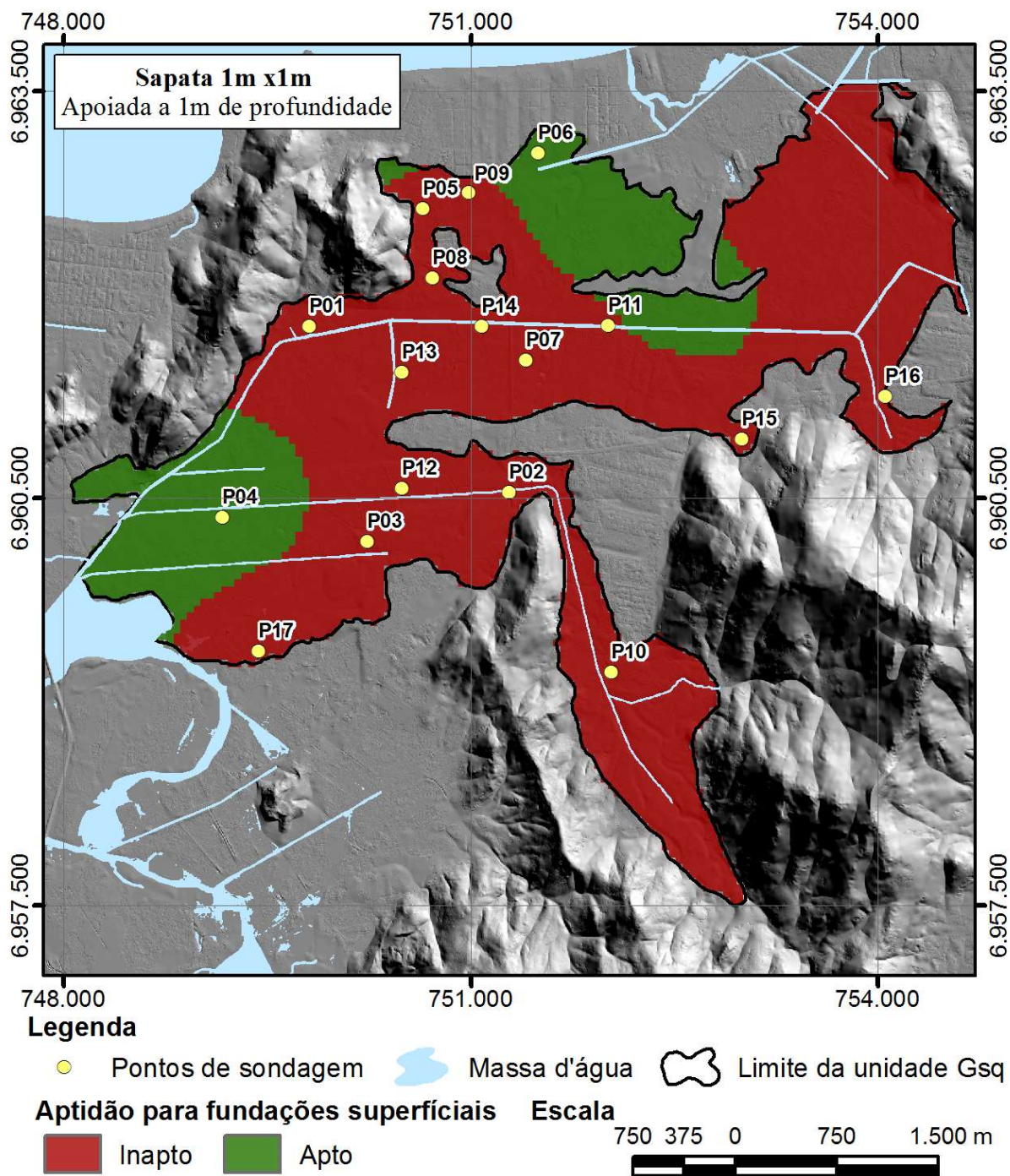
Para a edificação 1, foram elaborados os mapas (Figura 25 e Figura 26), que representam a sapata apoiada nas profundidades de 1 m e 2 m, respectivamente.

De acordo com a Figura 25, é possível observar que a maior parte dos solos se encontram inaptos para esta fundação. O resultado é condizente com o do Quadro 10, onde apenas 2 pontos (P04 e P06) foram considerados aptos. As profundidades analisadas nesse mapa vão até 3 m (bulbo de tensão de 2 m), portanto é possível inferir que a unidade geotécnica Gsq é formada majoritariamente de solos poucos resistentes nas camadas superficiais. Analisando mais detalhadamente os resultados dos ensaios dos pontos P04 e P06, verifica-se que os mesmos possuem um comportamento bastante distinto dos demais. Estes possuem uma resistência bastante elevada ( $N_{SPT}$  variando entre 15 a 31)<sup>1</sup> e uma granulometria maior (areia fina)<sup>2</sup>. O ponto P06 se encontra próximo ao limite da área Gsq, podendo ter o comportamento da unidade adjacente (PZsq). Já o ponto P04 não está situado próximo aos limites da unidade, sendo uma anomalia não esperada. Portanto, é possível que se trate de uma área de unidade geotécnica distinta da Gsq não individualizada por conta da escala de mapeamento.

---

<sup>1</sup>  $N_{SPT}$  ANEXO A – DADOS DOS ENSAIOS SPT FORNECIDOS PELO LAMGEO UTILIZADOS PARA INTERPOLAÇÃO.

Figura 25 - Mapa de aptidão da Sapata 1 apoiada a 1 m de profundidade



Fonte: Autor (2018).

Para o complemento das análises foi elaborado o Quadro 14, o qual apresenta o percentual de áreas aptas à execução da Sapata 1 apoiada a 1 m de profundidade na unidade geotécnica Gsq.

Quadro 14 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 1 apoiada a 1 m de profundidade.

Edificação I	
Sapata	1 m x 1 m
Profundidade	1 m
Área (%)	
Inapta	76,56%
Apta	23,31%

Fonte: Autor (2018).

O Quadro 14 quantifica a inaptidão da unidade a execução desta sapata (76,56%). Este resultado difere um pouco do apresentado no Quadro 10 (pg, 59), onde a inaptidão foi de (88,24%). Esta diferença pode ser explicada pelo fato do Quadro 10 apresentar uma análise pontual e o Quadro 14 representar o resultado de uma interpolação dos dados.

A Figura 26 e o Quadro 15 apresentam os resultados da Sapata 1 apoiada a 2 m de profundidade.

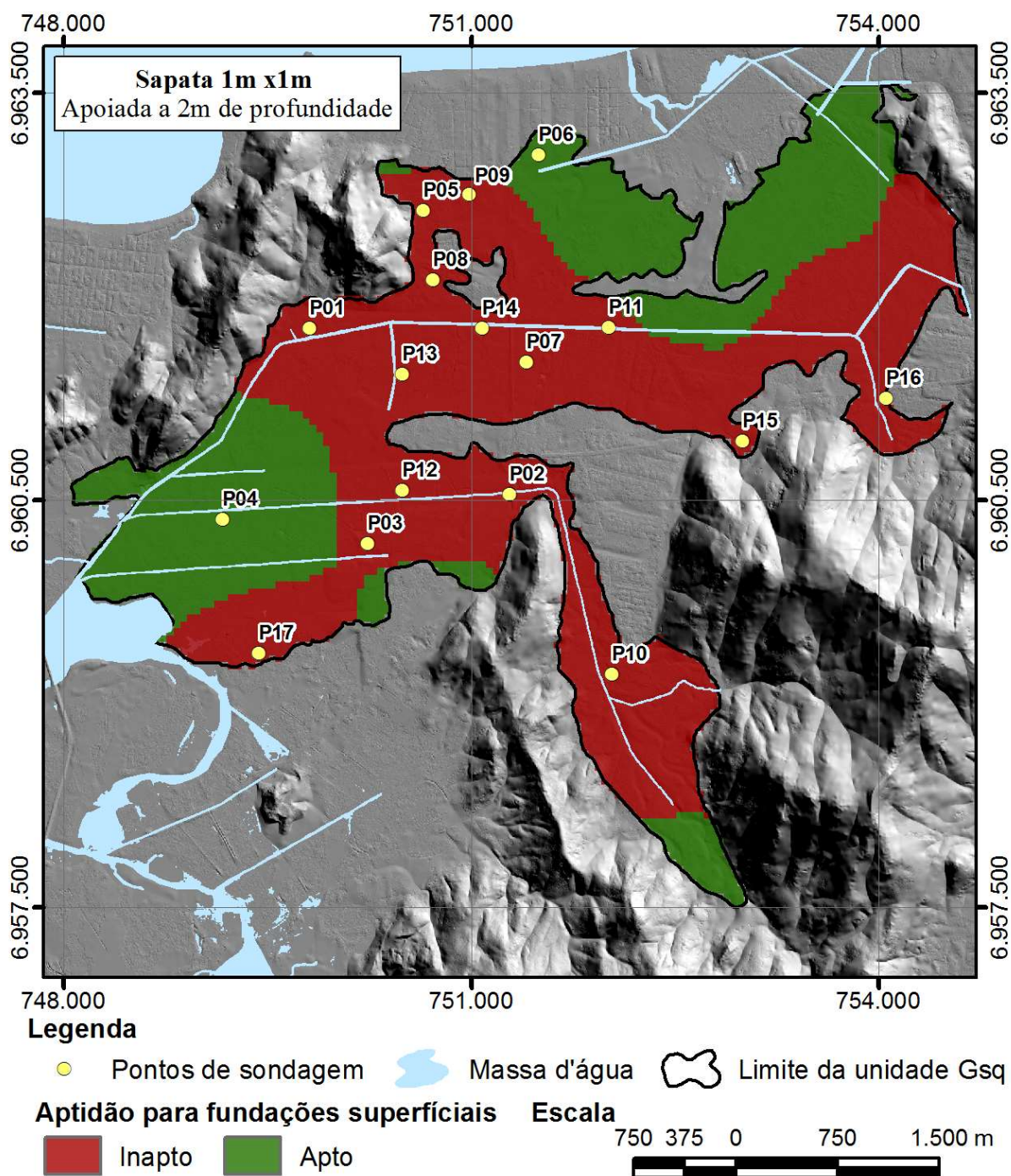
Quadro 15 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 1 apoiada a 2 m de profundidade.

Edificação 1	
Sapata	1 m x 1 m
Profundidade	2 m
Área (%)	
Inapta	63,76%
Apta	36,19%

Fonte: Autor (2018).



Figura 26 - Mapa de aptidão da Sapata 1 apoiada a 2 m de profundidade



Fonte: Autor (2018)

Nota-se que apesar do aumento de 12,88% da área apta, a maior parte do subsolo ainda se encontra inapto (63,76%) a execução desta sapata. Portanto, até 4 m de profundidade o

subsolo ainda pode ser composto em sua maioria de camadas pouco resistentes. Os pontos P04 e P06 ainda são anômalos nessa profundidade com uma resistência alta,  $N_{SPT}$  variando entre 20 a 29, e uma textura mais grosseira (areia fina) que os demais.

### Mapas de aptidão para construção da edificação 2

A edificação 2 foi designada como uma edificação residencial com um pavimento térreo, um pavimento superior e uma cobertura, com uma carga de 500 kN aplicada em uma sapata quadrada de dimensões 1,6 m x 1,6 m e um bulbo de tensões de 4 m. Para esta análise elaborou-se os mapas (Figura 27 e Figura 28), que representam a Sapata 2 apoiada na profundidade de 1m e 2m respectivamente. Juntamente aos mapas foram produzidos o Quadro 16 e o Quadro 17 a fim de complementar as análises.

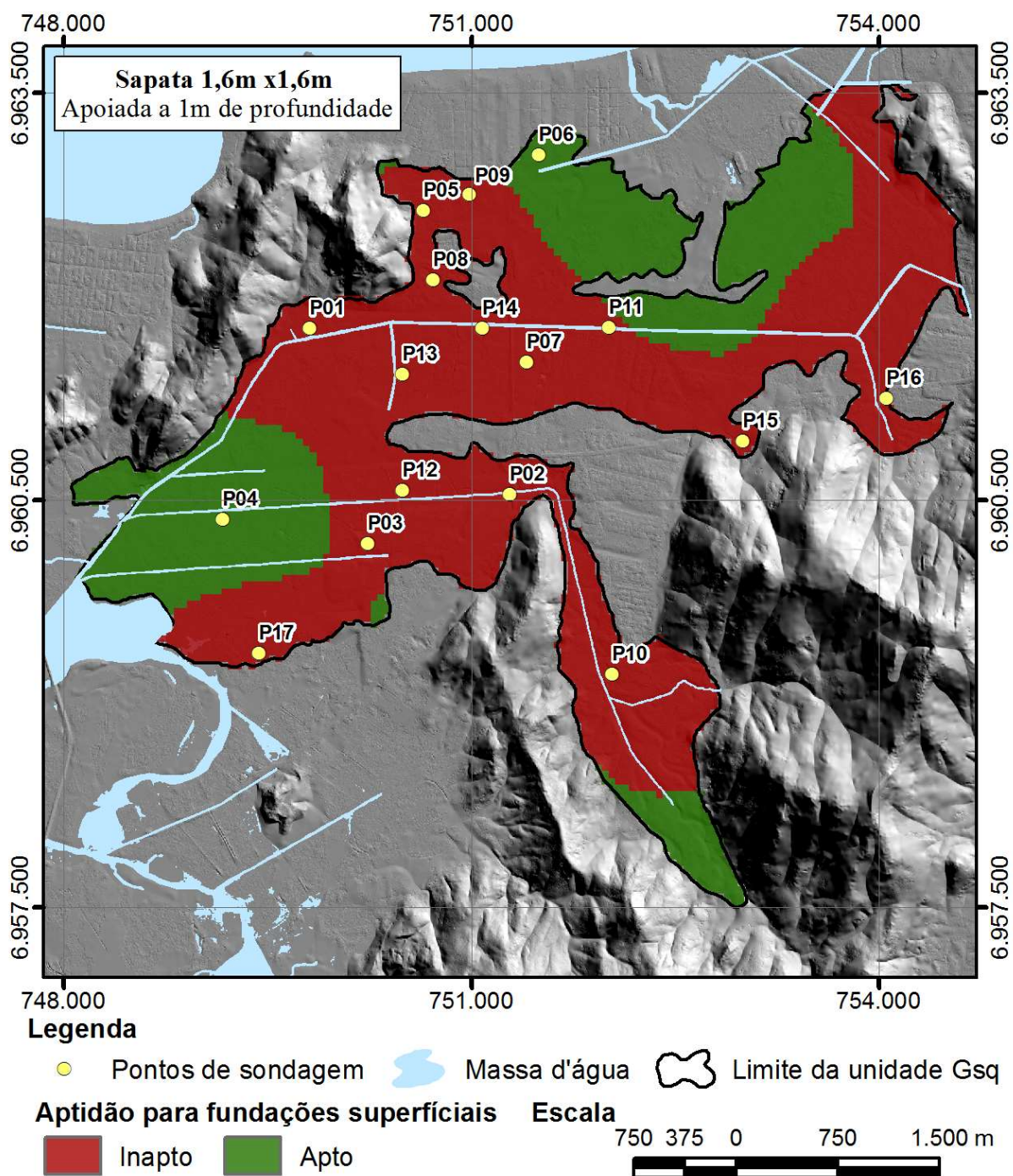
Observando a Figura 27 e o Quadro 16 pode-se observar que os resultados estão coerentes com os do Quadro 11, já que apenas os 2 pontos (P04 e P06) estão encontrados nas áreas aptas. Comparando com os resultados da Sapata 1 apoiada a 1 m de profundidade, observa-se um incremento de 8,89% na superfície apta. Consequentemente, é possível inferir que existe um pequeno aumento da resistência do solo nas profundidades 4 m e 5 m, uma vez que a diferença prática entre a Sapata 1 e a Sapata 2 é a profundidade de seu bulbo de tensões, 2 m e 4 m respectivamente.

Quadro 16 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 2 apoiada a 1 m de profundidade.

Edificação 2	
Sapata	1,6 m x 1,6 m
Profundidade	1 m
Área (%)	
Inapta	67,74%
Apta	32,20%

Fonte: Autor (2018).

Figura 27 - Mapa de aptidão da Sapata 2 apoiada a 1 m de profundidade



Fonte: Autor (2018).

A seguir, na Figura 28 e no Quadro 17, são apresentados os resultados de aptidão da Sapata 2 apoiada a 2 m de profundidade

Confrontando com os resultados obtidos para a Sapata 2 na profundidade de 1 m, nota-se um aumento de 8,25% das áreas com capacidade de suporte. Ainda assim, 59,55% foi dada como inapta para a execução da Sapata 2 na profundidade de 2 m. Conseqüentemente, existe uma melhora na capacidade de suporte do solo, porém a maior parte ainda é formada majoritariamente por solos poucos resistentes,  $N_{SPT}$  menores que 10, entre as profundidades de 3 m a 6 m.

O resultado de 40,45% de aptidão difere bastante, sendo 3,43 vezes maior que o resultado de 11,76% de pontos aptos na análise pontual para a mesma situação (Quadro 11). Essa discrepância expõe o valor que um mapa temático baseado em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e em um mapeamento geotécnico pode agregar ao gerar novos resultados para análises.

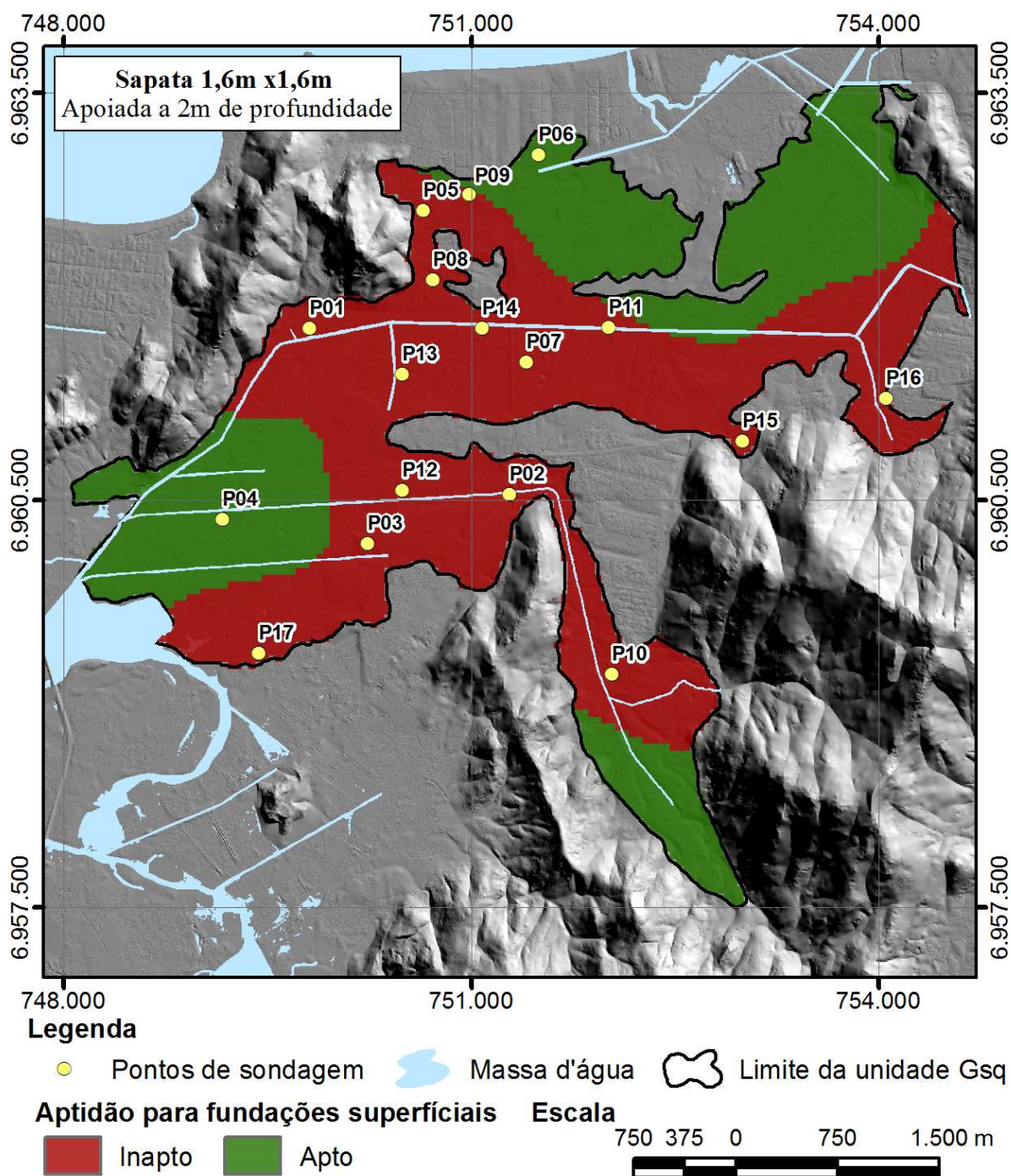
Quadro 17 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 2 m apoiada a 2 m de profundidade.

Edificação 2	
Sapata	1,6 m x 1,6 m
Profundidade	2 m
Área (%)	
Inapta	59,55%
Apta	40,45%

Fonte: Autor (2018).



Figura 28 - Mapa de aptidão da Sapata 2 apoiada a 2 m de profundidade



Fonte: Autor (2018).

### Mapas de aptidão para construção da edificação 3

A edificação 3 foi determinada como uma edificação residencial com quatro pavimentos, sendo um pavimento térreo, dois pavimentos tipos e uma cobertura, com uma carga de 1000 kN aplicada numa sapata quadrada, de dimensões 2,3 m x 2,3 m, e bulbo de tensões de 5 m. Para esta análise elaborou-se os mapas (Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32), que representam a Sapata 3 apoiada nas profundidades de 1m, 2m, 3 m e 4 m. respectivamente.

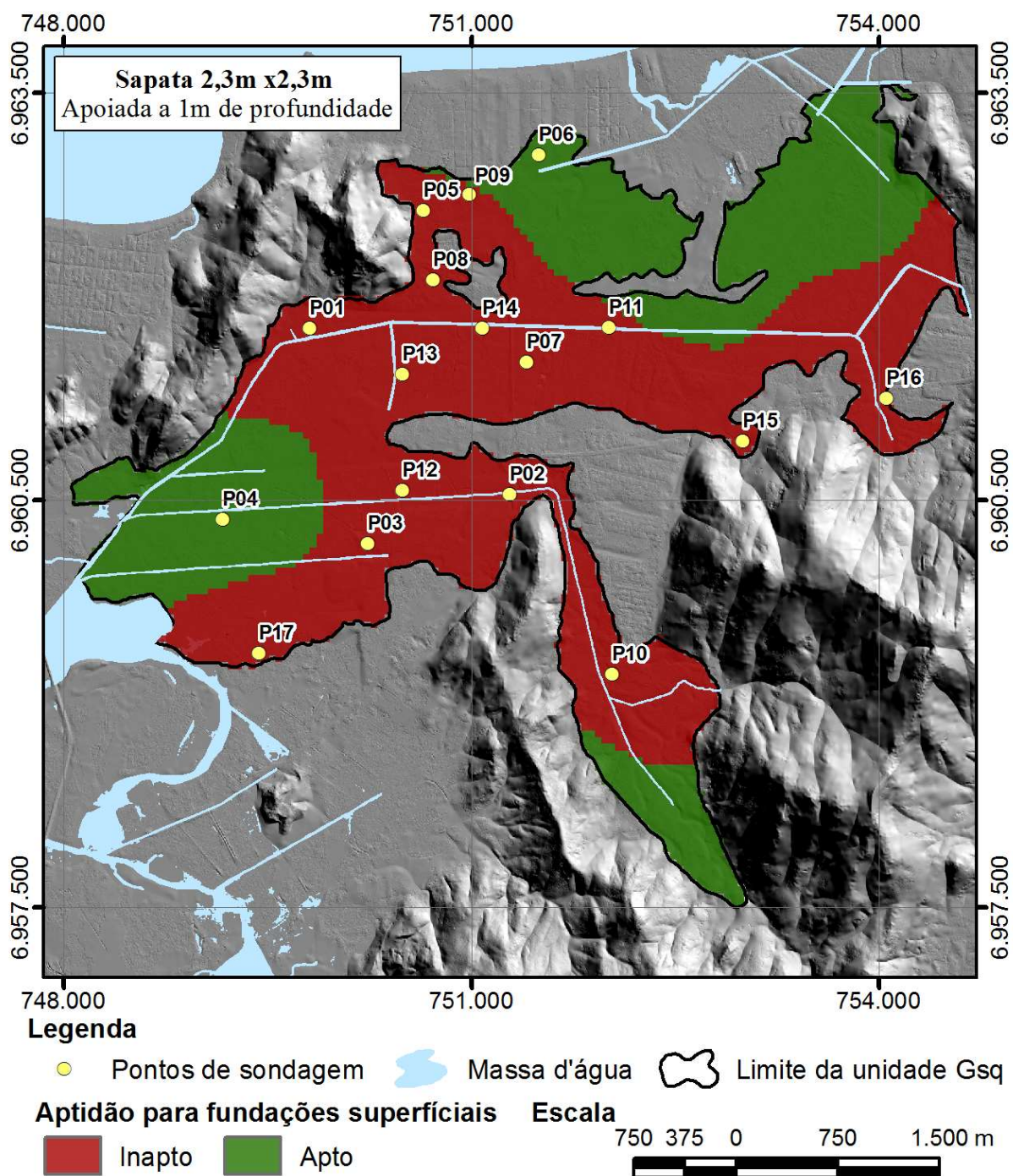
Como nos itens anteriores, também foram produzidos quadros ( Quadro 18, Quadro 19) com os percentuais de aptidão da área a execução da sapata a fim de complementarem as análises.

Quadro 18 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 3 apoiada a 1 m de profundidade.

Edificação 3	
Sapata	2,3 m x 2,3 m
Profundidade	1 m
Área (%)	
Inapta	61,99%
Apta	38,01%

Fonte: Autor (2018).

Figura 29 - Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 1 m de profundidade.



Fonte: Autor (2018).

A partir da Figura 29 e do Quadro 18 e Confrontando o resultado com os da Sapata 1 e 2, tem-se um aumento de 14,71% e 5,81% das áreas aptas respectivamente. Como já mencionado anteriormente, as sapatas estão sobre tensões bastante similares, tendo a grande divergência entre si a profundidade do bulbo de tensões. Com o bulbo atingindo até 6 m de profundidade, pode-se inferir que há um aumento de resistência do solo de uma forma generalizada diretamente proporcional ao aumento da profundidade. Apesar disso, os resultados corroboram com a análise de que os solos encontrados nas camadas mais superficiais na unidade geotécnica Gsq não possuem uma grande capacidade de suporte ( $N_{SPT} < 10$ ).

Os resultados para a sapata 2,3 m x 2,3 m apoiada a 2 m de profundidade, podem ser observados no mapa (Figura 30) e no Quadro 19. Percebe-se que houve um aumento de 10,83% da área apta em comparação com a mesma sapata na profundidade de 1 m.

Diferentemente do Quadro 12, os mapas não abordaram a classificação de “Inapta por recalque”. Isso se deve ao método de elaboração. Foram interpolados os valores médios de  $N_{SPT}$  dentro do bulbo de tensões, e os valores de  $N_{SPT}$  médio maiores que 10 ( ver item 4.3.2) foram considerados como aptos. É importante, portanto, salientar que mesmo o mapa indicando como áreas aptas, as áreas próximas aos pontos P03 e P09, podem sofrer com recalques por possuírem camadas de solos moles ou fofos,  $N_{SPT}$  inferior a 5, dentro do bulbo de tensões.

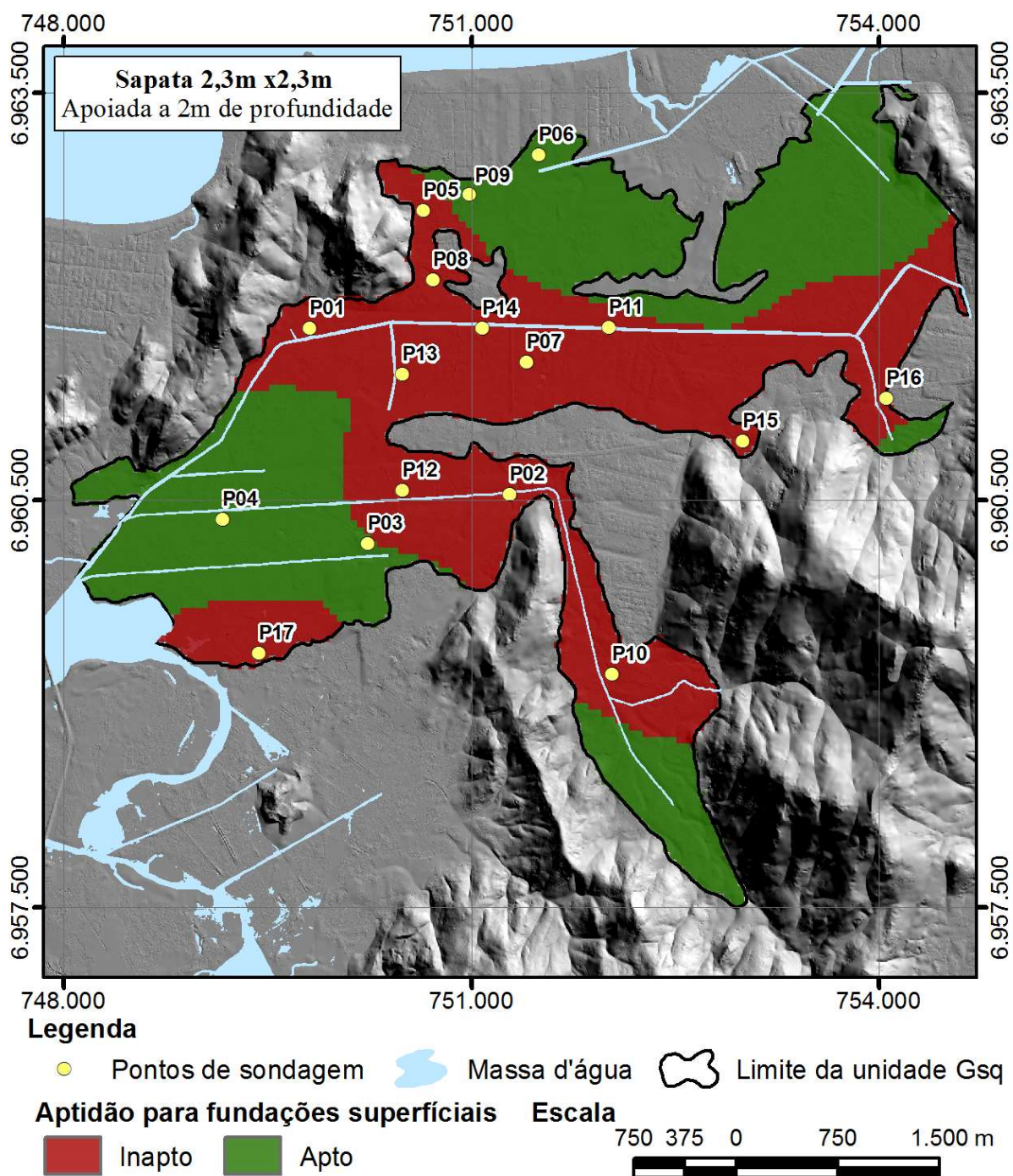
Quadro 19 – Percentual de aptidão a execução da Sapata 3 apoiada a 2 m de profundidade.

Edificação 3	
Sapata	2,3 m x 2,3 m
Profundidade	2 m
Área (%)	
Inapta	51,15%
Apta	48,85%

Fonte: Autor (2018).



Figura 30 – Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 2 m de profundidade.



Fonte: Autor (2018).

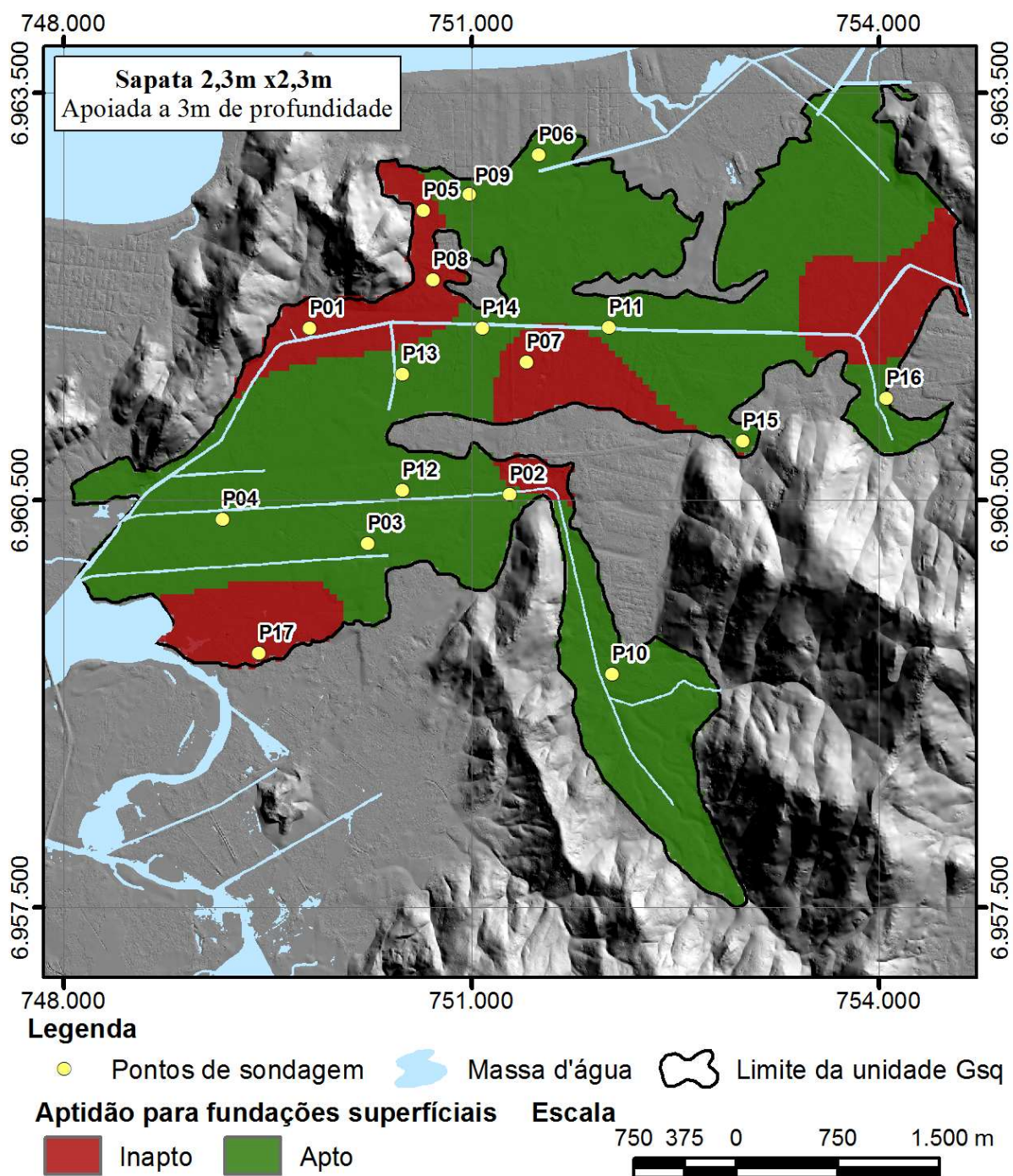
De acordo com a Figura 31 e o Quadro 20 podemos observar os resultados da sapata 2,3 m x 2,3 m apoiada a 3 m de profundidade. Observa-se um aumento de 27,94% da área apta em relação a sapata assentada a 2 m. Apesar disto comparando com o resultado da análise pontual Quadro 12, existem 7 pontos (P02, P03, P04, P09, P12, P14 e P15) que apresentaram possíveis problemas de recalque por possuírem camadas de solos moles ou fofos dentro do bulbo de tensões. Mesmo assim, verifica-se uma tendência de aumento de capacidade de suporte do solo em maiores profundidades.

Quadro 20 - Percentual de aptidão a execução da Sapata de 3 apoiada a 3 m de profundidade.

Edificação 3	
Sapata	2,3 m x 2,3 m
Profundidade	3 m
Área (%)	
Inapta	23,21%
Apta	76,79%

Fonte: Autor (2018).

Figura 31 - Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 3 m de profundidade.



Fonte: Autor (2018).

A Figura 32 e o Quadro 21 apresentam os resultados do último mapa temático, o de aptidão da Sapata 3 apoiada a 4 m de profundidade. Comparando com a sapata apoiada a 3 m de profundidade, temos uma pequena queda de 0,46%. Ainda assim, pelos resultados a maior parte da unidade geotécnica (76,32%) se encontra apta para essas condições. Confrontando com os dados da análise pontual, oito ou 47,05% dos pontos (P02, P03, P04, P06, P09, P12, P14 e P15) podem apresentar problemas de recalque. Esta pequena queda de aptidão e o aumento de pontos de recalque indicam que entre a profundidade de 8 m a 9 m existe uma perda de capacidade solo com a presença de mais solos moles ou fofos.

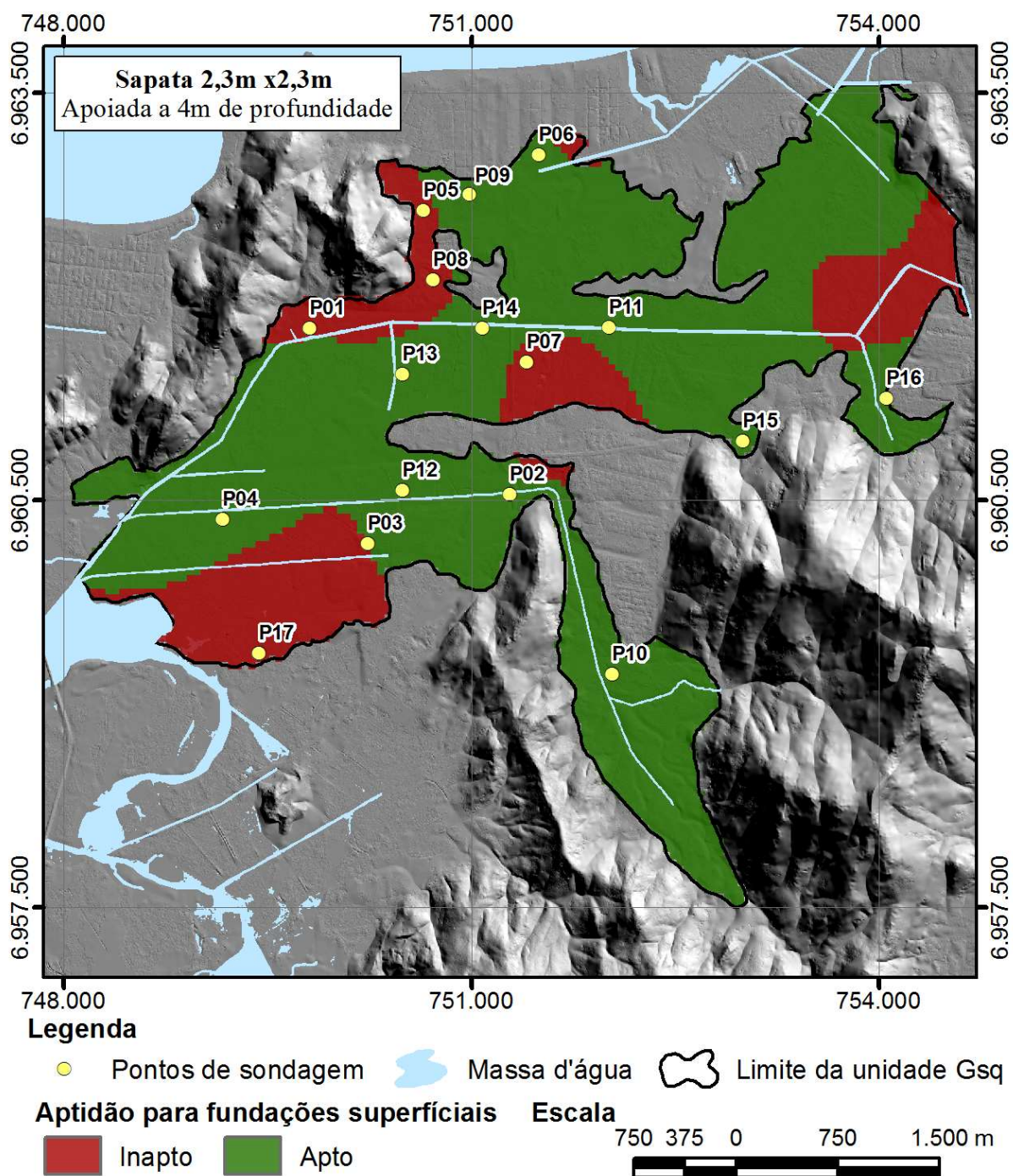
Quadro 21 - Percentual de aptidão a execução da Sapata 3 apoiada a 4 m de profundidade.

Edificação 3	
Sapata	2,3 m x 2,3 m
Profundidade	4 m
Área (%)	
Inapta	23,68%
Apta	76,32%

Fonte: Autor (2018).



Figura 32 - Mapa de aptidão da Sapata 3 apoiada a 4 m de profundidade.





## 6 CONCLUSÕES

A utilização de um SIG aliado a um banco de dados permitiu a caracterização da unidade geotécnica Gleissolos substrato sedimentos quaternários (Gsq), na bacia do Rio Papaquara, Florianópolis-SC, quanto a sua aptidão à execução de fundações superficiais do tipo sapata, com diferentes tipos de solicitações e dimensões. A caracterização da bacia foi realizada de forma espacializada, sendo elaborados mapas a partir do método de interpolação Spline, que, dentre outros dois métodos IDW e Vizinho Próximo, foi o que melhor se ajustou aos dados amostrados.

Como era de se esperar para uma área cuja a geologia é formada por sedimentos quaternários, os subsolos representados pelos perfis de SPT analisados, apresentaram baixa resistência, sendo classificados, na sua maioria, como inaptos, ou seja, com  $N_{SPT}$  médio inferior a 10, ou inaptos por recalque, onde há a possibilidade do solo apresentar problemas de recalque devido à presença de camadas com  $N_{SPT}$  médio inferior a 5 dentro do bulbo de tensões. Ainda em relação ao subsolo da unidade Gsq, percebeu-se que até os 8 m, de uma forma geral, houve um aumento da resistência do solo com a profundidade, a partir do qual, até a profundidade de 9 m notou-se uma perda na sua resistência.

Em relação ao desempenho do subsolo quanto às edificações propostas nesse estudo concluiu-se que:

- A edificação 1, com uma carga de 200 kN transmitida ao solo por uma sapata de 1 m x 1 m, apresentou o desempenho mais desfavorável quanto a aptidão do solo, sendo considerada inapta para 63,76% dos casos analisados;
- A edificação 2, com uma carga de 500 kN transmitida ao solo por uma sapata de 1,6 m x 1,6 m, teve um desempenho intermediário, mas ainda sendo considerada inapta na maior parte dos casos analisados;
- A edificação 3, com uma carga de 1000 kN transmitida ao solo por uma sapata de 2,3 m x 2,3 m, teve o melhor desempenho quanto a aptidão do solo, apresentando os melhores resultados, principalmente quando a sapata foi apoiada nas camadas mais profundas (entre 3 m e 4 m de profundidade). Porém, é importante ressaltar que os problemas de possíveis recalques não estão identificados nos mapas elaborados.

Por fim, é importante frisar que os mapas elaborados no presente estudo têm caráter informativo e devem ser utilizados apenas para análises preliminares, não eximindo a necessidade de ensaios para a execução das obras, podendo auxiliar, por exemplo, na elaboração de projetos de fundações nas fases iniciais.



## 7 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Sugere-se, para a elaboração de trabalhos futuros, as seguintes questões:

- Aquisição de um maior número de sondagens SPT para o enriquecimento do atual banco de dados;
- Caracterização de outras unidades geotécnicas presentes na bacia do Rio Papaquara ou no município de Florianópolis/SC;
- Elaborar outros mapas complementares para área, como por exemplo: nível d'água, impenetrável e granulometria;
- Utilizar álgebra de mapas para realizar análises de áreas com problemas de recalque.
- Elaborar mapas de aptidão quanto a outros tipos de fundações, como exemplo fundações profundas;
- Elaboração de perfis estratigráficos com base nos boletins de SPT;
- Utilização de outros métodos de interpolação, como por exemplo a Krigagem.



## REFERÊNCIAS

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

ABNT. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010.

ANDRADE, A. R. de. **Caracterização dos elementos de fundações aplicáveis em edificações na região de Florianópolis**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

ARARIPE, M. A. de A. **Projeto geotécnico e estrutural de fundações de uma edificação**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2016.

BISHOP, T. F. A.; MCBRATNEY, A. B.; LASLETT, G. M. **Modelling soil attribute depth functions with equal-area quadratic smoothing splines**. Geoderma, v. 91, n. 1, p. 27-45, 1999.

BÄHR, H. P. GIS Introduction – main concepts. IN: BÄHR, H. P., VÖGTLE, T. **GIS for environmental monitoring**. 360p. Stuttgart: Schweizerbart, 1999.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. **A ANÁLISE ESPACIAL DE SUPERFÍCIES**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2002.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. 234p.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas - Projeto Geotécnico**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

DAVID, R. B. Dissertação **Estudo preliminar de zoneamento ambiental para ocupação urbana da bacia do Rio Ratoles**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SOLOS, 2006.

ESRI. **How IDW works**. Disponível em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/idw.htm>. acesso em 30 de novembro de 2018.

ESRI. **How Natural Neighbor works.** Disponível em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-natural-neighbor-works.htm>. acesso em 30 de novembro de 2018.

ESRI. **How Spline works.** Disponível em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-spline-works.htm>. acesso em 30 de novembro de 2018.

FERNANDES, Talita Tanaka. **Krigagem indicativa para elaboração de mapas probabilístico em agricultura de precisão.** 2014. 67 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências de Botucatu, 2014.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** 1ª Edição. São Paulo. Oficina de Textos, 2008.

HACHICH, W.; FALCONI, F.F.; SAES, J.L.; FROTA, R.G.Q.; CARVALHO, C.S.C.; NIYAMA, S. **Fundações Teoria e Prática.** 2ª Edição. São Paulo: Editora PINI, 1999.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental.** Tese de Doutorado. Pós-graduação em Engenharia Civil. Área de Concentração: Infraestrutura e Gerência Viária. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 486 p.

HORN FILHO, N. O; LIVI, N. S. **Mapa geoevolutivo da planície costeira da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** In: HORN FILHO, N. O. (Org.); LEAL, P. C.; OLIVEIRA, J. S. de. **Atlas geológico das praias arenosas da ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Departamento de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2013. 228p. ISBN: 978-85-60501-10-6.

IBGE. **Geologia.** Florianópolis, 1997. In.: IBGE. **Estudos ambientais da grande Florianópolis.** Florianópolis, 1997.

IBGE. **Mapa exploratório de Geologia.** Escala 1:100.000. Florianópolis, 1997. In.: IBGE. **Estudos ambientais da grande Florianópolis.** Florianópolis, 1997.

IBGE. **Mapa exploratório de Solos.** Escala 1:100.000. Florianópolis, 1997. In.: IBGE. **Estudos ambientais da grande Florianópolis.** Florianópolis, 1997.

IBGE. **Mapa exploratório de Vegetação**. Escala 1:100.000. Florianópolis, 1997. In.: IBGE. **Estudos ambientais da grande Florianópolis**. Florianópolis, 1997.

IBGE. **Vegetação**. Florianópolis, 1997. In.: IBGE. **Estudos ambientais da grande Florianópolis**. Florianópolis, 1997.

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

ROSOLEM, G. P. N. **Mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos na bacia do rio Forquilhas – São José-SC**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2014.

SANTOS, G. T. **Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia**. Porto Alegre - RS: Tese (doutorado) em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.

SCHNAID, F.; ODEBRECHT, E. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações**. 2ª edição. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2012.

SOUZA, G. D. B. **Caracterização de Unidades Geotécnicas com Ênfase na Capacidade de Suporte do Subsolo No Município de Florianópolis/Sc Com Base em um Banco de Dados de Sondagem à Percussão (SPT)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2016.

THIESEN, S. **Aplicação de Ferramenta SIG Para Mapeamento Geotécnico e Cartas de Aptidão Para Fundação a Partir de Ensaio SPT – Um Estudo de Caso Blumenau/SC**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016. 175p.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. Vol. Único. 1º ed, São Paulo: Oficina de Textos, 2012.



## APÊNDICES

APÊNDICE A –  $N_{SPTmédio}$  UTILIZADO PARA INTERPOLAÇÃO

APÊNDICE B – ANÁLISE PONTUAL

APÊNDICE A - Nspmtédios UTILIZADOS PARA INTERPOLAÇÃO

Ponto	S1_P1m	S1_P2m	S16_P1m	S16_P2m	S23_P1m	S23_P2m	S23_P3m	S23_P4m
I01	7,5	13	12	17,5	14,4	20	21,6	24,2
I02	8	1,5	4,5	2,25	4,6	3	4	4,8
I03	6	4	4	4,25	4,6	8,2	15,2	19,8
I04	4	2	3	2	2,8	3,6	9,6	15,6
I05	27	20	17,75	12,25	14,6	10,2	4,6	3
I06	22	18	16	11,5	13,2	9,6	5,2	3,2
I07	3,5	9,5	10,25	22	18,2	27,6	36,8	43,8
I08	0,5	0,5	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2
I09	4	27,5	27	38,75	31,6	41	50	50
I10	11,5	17	14	15,5	13,8	15,2	22	28,4
I11	0,5	0,5	0,5	1	1	1,6	11,6	21,4
I12	0	3	3,75	6,25	5	7	17	25,8
I13	2	4,5	5	7,25	5,8	8	17,2	26,2
I14	31	43,5	27,75	28,75	26,8	23,8	16	9
I15	21,5	22	19,25	19,25	18,8	16,6	11,8	8,6
I16	32,5	31	27	32,75	30,4	35,2	28	25,2
I17	4,5	5	4,25	9,5	8,4	13,6	16,2	19
I18	13,5	16	15,5	18,75	17,4	23,4	30,4	35,2
P01	2,5	3	2,5	2	2,2	2,4	2,6	7
P02	5,5	7,5	5,5	5	4,8	4,8	11,4	18,2
P03	5	9	8,25	8,25	7,4	10,6	12,6	10,6
P04	17,5	22,5	18,25	17,5	17	22,4	18,6	14,4
P05	3,5	2	2,75	2	2,6	2	2	2
P06	30	24,5	25	26	27	26,2	21,8	18,2
P07	1	2	2,25	2	2	2	2,2	1,6
P08	5,5	0,5	2,75	0,25	2,2	0,2	0	0,2
P09	4	2	2,5	8,75	8	17	26,4	36,2
P10	0,5	3,5	3,25	4,75	4	5,2	15,2	23,8
P11	8,5	7,5	8,25	7,25	7,6	6,8	15,2	23,8
P12	3	5,5	4	4,75	4,2	4,8	14	22,6
P13	5	6,5	6,25	7,5	6,8	8,2	17	25,6
P14	2,5	3,5	3,25	4	3,6	4,4	13,8	23
P15	0,5	0	0,5	0,75	0,8	1,2	11,2	21,2
P16	1	3,5	4,75	6	5,2	7,4	17,4	26
P17	2,5	2	2,25	2	2,2	2,6	2,8	2,8

PXX: Ponto de sondagem dentro da unidade Gsq da bacia Rio Papaquara.  
 IXX: Ponto de sondagem utilizado apenas para auxílio da interpolação.

S1\_P1m: Sapata 1 a 1m de prof.  
 S16\_P2m: Sapata 2 a 2m de prof.  
 S23\_P3m: Sapata 3 a 3m de prof.



APÉNDICE B - ANÁLISE PONTUAL

Onde: 0 = Inapta, 1 = Apta e 2 = Inapta por Recalque

Ponto	S1_P1m	S1_P2m	S16_P1m	S16_P2m	S23_P1m	S23_P2m	S23_P3m	S23_P4m
I01	2	0	0	1	2	1	1	1
I02	0	0	0	0	0	0	0	0
I03	0	0	0	0	0	0	2	2
I04	0	0	0	0	0	0	0	2
I05	1	0	0	2	2	2	0	0
I06	1	0	0	2	2	0	0	0
I07	2	0	0	2	2	2	1	1
I08	0	0	0	0	0	0	0	0
I09	2	0	0	1	2	1	1	1
I10	1	0	0	1	1	1	1	1
I11	0	0	0	0	0	0	2	2
I12	0	0	0	0	0	0	1	1
I13	0	0	0	0	0	0	1	1
I14	1	0	0	1	1	2	2	0
I15	1	0	0	1	1	1	2	0
I16	1	0	0	1	1	1	1	2
I17	0	0	0	0	0	2	2	2
I18	1	0	0	1	1	1	1	1
P01	0	0	0	0	0	0	0	0
P02	0	0	0	0	0	0	2	2
P03	0	0	0	0	0	2	2	2
P04	1	0	0	1	1	1	2	2
P05	0	0	0	0	0	0	0	0
P06	1	0	0	1	1	1	1	2
P07	0	0	0	0	0	0	0	0
P08	0	0	0	0	0	0	0	0
P09	0	0	0	0	0	2	2	2
P10	0	0	0	0	0	0	1	1
P11	0	0	0	0	0	0	1	1
P12	0	0	0	0	0	0	2	2
P13	0	0	0	0	0	0	1	1
P14	0	0	0	0	0	0	2	2
P15	0	0	0	0	0	0	2	2
P16	0	0	0	0	0	0	1	1
P17	0	0	0	0	0	0	0	0

PXX: Ponto de sondagem dentro da unidade Gsq da bacia Rio Papaquara.

IXX: Ponto de sondagem utilizado apenas para auxílio da interpolação.

S1\_P1m: Sapata 1 a 1m de prof.

S16\_P2m: Sapata 2 a 2m de prof.

S23\_P3m: Sapata 3 a 3m de prof.

## **ANEXOS**

ANEXO A – DADOS DOS ENSAIOS SPT FORNERCIDOS PELO LAMGEO UTILIZADOS PARA INTERPOLAÇÃO.

ANEXO B – DADOS DOS ENSAIOS SPT UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS INTERPOLADORES

ANEXO C – DADOS DE TEXTURA DOS PONTOS DE SONDADEMADA

ANEXO D – DADOS DE COLORAÇÃO DOS PONTOS DE SONDADEM

ANEXO A - DADOS DOS ENSAIOS SPT FORNERCIDOS PELO LAMGEO UTILIZADOS PARA INTERPOLAÇÃO.

Ponto	Nspt1	Nspt2	Nspt3	Nspt4	Nspt5	Nspt6	Nspt7	Nspt8	Nspt9	Nspt10
I01	2	2	13	13	20	24	30	21	26	23
I02	12	14	2	1	1	5	6	7	5	5
I03	10	6	6	2	2	7	24	41	25	30
I04	11	6	2	2	2	2	10	32	32	30
I05	3	24	30	10	7	2	2	2	2	3
I06	17	20	24	12	8	2	2	2	2	2
I07	2	3	4	15	19	1000	1000	1000	1000	1000
I08	8	0	1	0	0	0	0	1	0	1
I09	2	3	5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
I10	3	7	16	18	15	13	14	1000	1000	1000
I11	0	1	0	1	0	3	4	1000	1000	1000
I12	0	0	0	6	9	10	10	1000	1000	1000
I13	0	0	4	5	11	9	11	1000	1000	1000
I14	9	19	43	44	5	23	4	4	9	10
I15	11	17	26	18	16	17	6	2	2	4
I16	7	21	44	18	25	44	45	8	4	4
I17	7	4	5	5	3	25	30	18	19	13
I18	10	12	15	17	18	25	42	50	41	31
P01	0	3	2	4	1	1	4	3	26	6
P02	2	4	7	8	3	2	4	40	42	4
P03	6	4	6	12	11	4	20	16	2	2
P04	4	15	20	25	13	12	42	1	4	5
P05	30	5	2	2	2	2	2	2	2	2
P06	16	31	29	20	20	35	27	7	2	2
P07	3	2	0	4	3	1	2	1	1	5
P08	4	10	1	0	0	0	0	0	1	2
P09	2	5	3	1	1	30	1000	1000	1000	1000
P10	0	1	0	7	5	7	7	1000	1000	1000
P11	5	9	8	7	9	5	5	1000	1000	1000
P12	0	2	4	7	3	5	5	1000	1000	1000
P13	0	4	6	7	8	9	11	1000	1000	1000
P14	0	2	3	4	4	5	6	1000	1000	1000
P15	1	1	0	0	1	2	3	1000	1000	1000
P16	3	2	0	7	10	7	13	1000	1000	1000
P17	5	3	2	2	2	2	5	3	2	2

PXX: Ponto de sondagem dentro da unidade Gsq da bacia Rio Papaquara.

IXX: Ponto de sondagem utilizado apenas para auxílio da interpolação.

1000: Unidade utilizada para representar o impenetrável.

ANEXO B - DADOS DOS ENSAIOS SPT UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS INTERPOLADORES

ID	Nspt1	Nspt2	Nspt3	Nspt4	Nspt5	Nspt6	Nspt7	Nspt8	Nspt9	Nspt10
A01	4	0	5	4	7	14	4	4	6	5
A02	11	8	7	18	24	30	32	7	9	13
A03	2	4	43	24	48	41	22	2	2	2
A04	6	2	2	2	6	5	42	28	42	28
A05	0	0	0	0	0	7	3	2	3	4
A06	4	4	5	20	12	17	40	28	25	20
A07	2	40	17	2	2	2	2	2	2	3
A08	10	31	22	10	12	9	7	2	1000	1000
A09	0	0	0	9	11	13	10	1000	1000	1000
A10	2	2	6	27	23	7	20	23	28	37
A11	27	20	35	37	45	38	3	40	30	2

AXX: Ponto de sondagem utilizado para avaliação dos métodos interpoladores.

1000\*: Unidade utilizada para representar o impenetrável.

ANEXO C - DADOS DE TEXTURA DOS PONTOS DE SONDA GEM

ID	Textura1	Textura2	Textura3	Textura4	Textura5	Textura7	Textura8	Textura9	Textura10
P01	Argila pouco arenosa c restos orgânicos	Areia argilosa média a fina	Areia média a fina c restos marinhos	Argila pouco arenosa	Argila pouco arenosa	Argila pouco arenosa	Areia pouco argilosa média a fina	Areia pouco argilosa média a grossa	Areia média a fina
P02	Argila	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Argila com fósseis marinhos	Argila	Areia fina	Areia fina	Argila arenosa
P03	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Argila pouco arenosa	Argila pouco arenosa
P04	Areia fina com fósseis marinhos	Areia fina com fósseis marinhos	Areia fina com fósseis marinhos	Areia fina com fósseis marinhos	Areia fina com fósseis marinhos	Areia fina com fósseis marinhos	Argila arenosa	Areia fina argilosa	Areia fina argilosa
P05	Aterro silte arenoso com entulhos	Aterro silte arenoso com entulhos	Areia média opouco argilosa	Argila organica	Argila organica	Argila organica	Areia média argilosa	Areia média argilosa	Areia média argilosa
P06	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Argila arenosa com fósseis marinhos	Argila arenosa com fósseis marinhos
P07	Aterro com materiais diversos	Aterro com materiais diversos	Argila p arenosa(areia mt fina) p siltosa orgânic	Areia média pouco siltosa	Areia média pouco siltosa	Areia média pouco siltosa	Areia média pouco siltosa	Areia média pouco siltosa	Areia média pouco siltosa
P08	Areia fina a méd. p argil. c/ restos org.	Areia fina a média	Areia fina a média	Argila	Argila	Argila	Argila	Argila	Argila com restos marinhos
P09	Areia média a grossa pouco argilosa	Areia média a grossa	Areia fina a média com restos orgânicos	Areia fina a média com restos orgânicos	Argila pouco arenosa com restos orgânicos	-	-	-	-
P10	Areia fina argilosa	Areia fina a média pouco siltosa	Areia média a grossa pouco siltosa	Areia média a grossa pouco siltosa	Areia média a grossa	Areia média a grossa	-	-	-

PXX: Ponto de sondagem dentro da unidade Gsq da bacia Rio Papaquara.

ANEXO C - DADOS DE TEXTURA DOS PONTOS DE SONDAGEM

ID	Textura1	Textura2	Textura3	Textura4	Textura5	Textura7	Textura8	Textura9	Textura10
P11	Areia md c pedregulhos miúdos irregulares p silto	Areia md c pedregulhos miúdos irregulares p silto	Areia md c pedregulhos miúdos irregulares p silto	Areia md c pedregulhos miúdos irregulares p silto	Areia fina a média	Areia fina a média	-	-	-
P12	Areia fina pouco siltosa	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	Areia fina	-	-	-
P13	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	-	-	-
P14	Areia fina argilosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	-	-	-
P15	Aterro com areia fina a média pouco	Areia média pouco argilosa	Areia média pouco argilosa	Areia média pouco argilosa	Areia média pouco argilosa	Areia fina a média pouco siltosa	-	-	-
P16	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	Areia fina pouco siltosa	-	-	-
P17	Areia fina argilosa com	Areia fina argilosa com	Argila arenosa com fosseis	Argila arenosa com fosseis	Argila arenosa com fosseis	Areia fina argilosa	Argila	Argila	Argila

ANEXO D - DADOS DE COLORAÇÃO DOS PONTOS DE SONDAGEM

ID	Cor1	Cor2	Cor3	Cor4	Cor5	Cor6	Cor7	Cor8	Cor9	Cor10
P01	Marrom	Cinza	Cinza	Marrom	Marrom	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza claro
P02	Cinza escuro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza escuro	Cinza escuro	Marrom escuro	Marrom claro	Cinza claro	Cinza escuro
P03	Marrom	Marrom	Marrom	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza escuro	Cinza escuro
P04	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro
P05	Variegado	Variegado	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro
P06	Marrom claro	Marrom claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza claro	Cinza escuro	Cinza escuro
P07	-	-	Cinza escuro	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza
P08	Preto	Marrom	Marrom	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
P09	Cinza	Cinza	Marrom claro	Cinza claro	Cinza	Cinza	-	-	-	-
P10	Cinza médio	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza avermelhado	Cinza avermelhado	Cinza avermelhado	-	-	-
P11	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza	Cinza	Cinza	-	-	-
P12	Cinza escuro	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	Cinza	-	-	-
P13	Preto	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	-	-	-
P14	Preto	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	-	-	-
P15	Castanho escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	-	-	-
P16	Cinza escuro	Cinza escuro	Bege amarelado	Bege amarelado	Bege amarelado	Bege amarelado	Bege amarelado	-	-	-
P17	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Cinza escuro	Marrom escuro	Marrom escuro	Marrom escuro	Marrom escuro

PXX: Ponto de sondagem dentro da unidade Gsq da bacia Rio Papaquara.