

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS DO SERTÃO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**NATALÍCIO FERREIRA LÓZ JÚNIOR**

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE  
ARAPIRACA – AL POR MEIO DA ANÁLISE DE PERFIS DE  
SONDAGEM SPT**

Delmiro Gouveia – AL

2016

NATALÍCIO FERREIRA LÓZ JÚNIOR

**CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE  
ARAPIRACA – AL POR MEIO DA ANÁLISE DE PERFIS DE  
SONDAGEM SPT**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, *Campus* do Sertão, como pré-requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> DSc. Rafaela Faciola Coelho de Souza.

Delmiro Gouveia - AL

2016

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE  
ARAPIRACA – AL POR MEIO DA ANÁLISE DE PERFIS DE  
SONDAGEM SPT

**L879c** Lóz Júnior, Natalício Ferreira.  
Caracterização geotécnica do município de Arapiraca –  
AL por meio da análise de perfis de sondagem SPT /  
Natalício Ferreira Lóz Júnior. – 2016.  
78f.:il

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal  
de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup> Rafaela Faciola Coelho de Souza.

1. Mapeamento geotécnico. 2. Mapeamento -  
Arapiraca.

CDU 624.15

# FOLHA DE APROVAÇÃO

NATALÍCIO FERREIRA LÓZ JÚNIOR

## Caracterização Geotécnica do Município de Arapiraca – AL por Meio da Análise de Perfis de Sondagem SPT.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus Sertão e aprovado em 20 / 05 / 2016.

*Rafaela Faciola C. de Souza*

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. DSc. Rafaela Faciola Coelho de Souza - UFAL

Banca Examinadora:

*Rafaela Faciola C. de Souza*

Membro Interno: Prof<sup>ª</sup>. DSc. Rafaela Faciola Coelho de Souza - UFAL

*Karlisson André Nunes da Silva*

Membro Interno: Prof. MSc. Karlisson André Nunes da Silva - UFAL

*Juliane Andréia Figueiredo Marques*

Membro Externo: Prof<sup>ª</sup>. DSc. Juliane Andréia Figueiredo Marques - UFAL

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente, dedico este trabalho à Deus onipotente, onisciente e grande mestre tutor de todas as coisas, que sempre me iluminou meus passos durante esta jornada muito importante da minha vida. Não obstante, dedico ainda à minha família, em especial, aos meus pais, irmãs, sobrinhos e amigos, cujo carinho, amizade e companheirismo foram imprescindíveis para o êxito obtido nesta caminhada.

Além disso, destaco aqui a importância dos professores que tive a oportunidade de ser pupilo durante a minha formação e lapidação, tanto profissional, quanto pessoal. Ressalto, que todos contribuíram de forma substancial para tal, e que os ensinamentos a mim conferidos jamais serão esquecidos.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela sua providência e intercessão nos momentos difíceis da minha jornada, guiando-me e me fortalecendo a cada passo.

Aos meus pais, Natalício F. Lóz e Neire Vania C. Ferreira, por suprir todas as minhas necessidades afetivas e pelo enorme esforço dispendido para que eu pudesse chegar até aqui. Às minhas irmãs, Luma C. Ferreira e Natyenne C. Ferreira, pelo enorme companheirismo e pela confiança a mim conferida em minhas empreitadas.

A todos os meus amigos que me proporcionaram momentos de felicidade inesquecíveis e que fizeram o que deveria ser difícil se tornar fácil e prazeroso. Em caráter especial, aos que dividiram o mesmo teto comigo ao longo destes cinco anos e foram a minha família.

A todos os professores que me transmitiram o seu maior tesouro, a saber o conhecimento. À Universidade Federal de Alagoas, pela estrutura e apoio concedidos. Especialmente a minha orientadora, Rafaela Faciola Coelho de Souza, que com dedicação e seriedade conduziu-me durante a execução deste trabalho e, sobretudo, pelo conhecimento e ajuda transmitidos.

## RESUMO

O presente trabalho resulta da análise cartográfica do município de Arapiraca, situado na região Agreste do estado de Alagoas, bem como das suas características geográficas, e características geotécnicas provenientes de boletins de sondagem de simples reconhecimento *Standard Penetration Test* (SPT). A área de estudos envolve aproximadamente 351 km<sup>2</sup>, que compreende o município em sua totalidade. A metodologia utilizada para a caracterização desta área foi o mapeamento por meio do software *ArcGis 10.1*, à partir de dados da prefeitura municipal da cidade. Foram selecionados dados dos furos de sondagem em zonas periféricas e centrais da cidade, com a coleta de valores de  $N_{SPT}$ , nível de água, e cota do impenetrável. Os mapas elaborados mostraram que a cidade de Arapiraca possui um impenetrável em cota aproximada entre 5 e 6 metros abaixo do horizonte de superfície. Os boletins de sondagem permitiram verificar que o subsolo da região é claramente dividido em duas zonas, onde a porção mais ao norte da cidade é composta de uma camada de material basicamente arenoso com pouca variação em relação à sua profundidade, e abaixo, na porção mais ao sul, nota-se a ocorrência de solos predominantemente argilosos, também com pouca variação de material em profundidade. Neste ínterim, além de ser um estudo pioneiro no cenário alagoano, o trabalho reúne informações geotécnicas importantes que podem ser utilizadas pela prefeitura da cidade de Arapiraca como subsídio para mapear áreas para novas construções que sejam de interesse dos órgãos públicos e empresas privadas. Os documentos gerados nesta pesquisa podem ser utilizados, ainda, como auxílio na estimativa preliminar das características geotécnicas da área de interesse.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sondagem, Mapeamento Geotécnico, Caracterização Geotécnica, Mapeamento de Arapiraca.

## ABSTRACT

The following work results from the cartographic analysis of the city of Arapiraca, which is located in the Agreste region of Alagoas, as well as its geographical characteristics, and geotechnical characteristics coming from survey bulletins of simple recognition, *Standard Penetration Test (SPT)*. The area of study involves approximately 351 km<sup>2</sup>, which includes the entire city. The methodology used for the characterization of this area was by mapping through the software ArcGiz 10.1, utilizing data from the municipal government of the city. The data were selected from boreholes in remote and central areas of the city, by the collection of N<sub>SPT</sub> values, water level, and the impenetrable quota. The maps that were produced showed that the city of Arapiraca has an impenetrable in an approximate quota between 5 and 6 meters below the surface horizon. The survey bulletins allowed verifying that the subsoil of the region is clearly divided into two zones, which the portion more to the north of the city is basically composed of a layer of sandy material with little variation in relation to its depth, and below, in the portion further south, it is noticed the occurrence of predominantly clay soils, and also with little variation material in relation to its depth. Meanwhile, besides being a pioneering study in the scenario of Alagoas, the work brings together important geotechnical informations that can be used by the Arapiraca city government as a subsidy to map areas for new constructions that are of interest to public agencies and private companies. The documents generated in this study can be used as a help in the preliminary estimation of geotechnical characteristics in areas of interest.

**KEYWORDS:** Survey, Geotechnical mapping, Geotechnical characterization, Mapping of Arapiraca.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Equipamento de Sondagem. ....	24
<b>Figura 2</b> - Amostrador padrão. ....	25
<b>Figura 3</b> - Esquema haste-amostrador.....	26
<b>Figura 4</b> - Tipos de martelo. ....	27
<b>Figura 5</b> - Sistema de tubos hollow auger.....	32
<b>Figura 6</b> - Boletim de sondagem. ....	35
<b>Figura 7</b> - Exemplo de mapa cartográfico. ....	39
<b>Figura 8</b> - Localização geográfica do município de Arapiraca.....	46
<b>Figura 9</b> - Localização dos furos de sondagem, sem escala. ....	65

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Primavera.....	51
<b>Gráfico 2</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Verdes Campos. ....	53
<b>Gráfico 3</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Vila Bananeira.....	54
<b>Gráfico 4</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Baixa Grande. ....	55
<b>Gráfico 5</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Centro. ....	56
<b>Gráfico 6</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Santa Esmeralda.....	58
<b>Gráfico 7</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Canafístula.....	59
<b>Gráfico 8</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Senador Arnon de Melo. ....	60
<b>Gráfico 9</b> - Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Bom Sucesso.....	61
<b>Gráfico 10</b> – Valores de $N_{SPT}$ em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Pau D'arco. ....	63

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Tipos de martelo. ....	28
<b>Tabela 2</b> - Quantidade mínima de furos em função da área de construção. ....	30
<b>Tabela 3</b> - Influência das propriedades de solos granulares na resistência à penetração. ....	37
<b>Tabela 4</b> - Classificação dos solos de acordo com o valor de N. ....	37

## LISTA DE MAPAS

<b>Mapa 1</b> - Valores de $N_{SPT}$ estimados de acordo com a tonalidade das cores em todo o território do município de Arapiraca - AL na profundidade de 4,0 metros .....	67
<b>Mapa 2</b> – Valores de $N_{SPT}$ estimados de acordo com a tonalidade das cores em todo o território do município de Arapiraca - AL na profundidade de 5,0 metros. ....	68
<b>Mapa 3</b> - Valores de $N_{SPT}$ estimados de acordo com a tonalidade das cores em todo o território do município de Arapiraca - AL na profundidade de 6,0 metros. ....	69
<b>Mapa 4</b> – Mapa de zoneamento geotécnico de Arapiraca baseado nos tipos de solo encontrados nos pontos de sondagem. ....	71

## LISTA DE SIGLAS

**ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas

**NBR** – Norma Brasileira

**SPT** – “*Standard Penetration Test*” (Ensaio de Sondagem de Simples Reconhecimento)

**N<sub>SPT</sub>** – Soma do número de golpes necessário para cravação do amostrador-padrão dos dois últimos intervalos de 15 centímetros, para cada metro perfurado.

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica.

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

**UTM** – Universal Transversa de Mercator.

**ISSMFE** – “*International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering*”

**ASMT** – “*American Society for Testing and Materials*”.

**UNEAL** – Universidade Estadual de Alagoas.

**UFAL** – Universidade Federal de Alagoas.

**IAEG** – “*International Association for Engineering Geology*”

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	16
2	Objetivos .....	18
	2.1 Geral .....	18
	2.2 Específicos .....	18
3	Referencial Teórico .....	19
	3.1 Fundações .....	19
	3.1.1 Engenharia de Fundações .....	19
	3.2 Investigações Geotécnicas .....	20
	3.2.1 Importância de um Projeto de Investigação Geotécnica para a Implantação de Obras de Fundações .....	20
	3.2.2 Programa de Investigação Geotécnica.....	21
	3.2.3 Métodos de Investigação Geotécnica .....	22
	3.3 Sondagem de Simples Reconhecimento a Percussão (SPT) .....	23
	3.3.1 Normalização e Padronização do SPT (Standard Penetration Test) 23	
	3.3.2 Equipamentos .....	24
	3.3.3 Operações Preliminares .....	29
	3.3.4 Furos de Sondagem.....	29
	3.3.5 Procedimentos .....	30
	3.3.6 Critérios de Interrupção do Processo de Cravação do Amostrador 32	
	3.3.7 Relatório de Resultados .....	33
	3.3.8 Fatores que Influenciam no $N_{SPT}$ .....	35
	3.3.9 Classificação do Solo Quanto o $N_{SPT}$ . .....	37
	3.4 Mapeamento Geotécnico .....	38
	3.4.1 Sistemas de Informação Geográfica – SIG .....	38
	3.4.2 Cartografia Geotécnica.....	38

3.4.3	Forma da Superfície Terrestre .....	40
3.4.4	Ferramentas Estatísticas como Ferramenta de Composição Espacial ou Geodésia .....	41
3.4.5	Principais Tipos de Mapeamento Geotécnico Utilizados no Brasil 42	
4	Trabalhos Realizados com Mapeamento e SPT .....	44
5	Caracterização do município de Arapiraca – AL .....	46
5.1	Localização e Acesso.....	46
5.2	Aspectos Fisiográficos .....	46
5.3	Geologia.....	47
5.4	Aspectos sociais .....	47
5.5	Histórico Econômico.....	48
6	Metodologia utilizada .....	49
6.1	Levantamento dos dados dos perfis de sondagem da cidade de Arapiraca. 49	
6.1.1	Mapas.....	49
6.1.2	Sondagens SPT .....	49
6.2	Edição dos Perfis de Sondagem por Bairro .....	49
6.3	Manipulação dos Dados em SIG e Montagem de Banco de Dados. ...	50
7	Resultados .....	51
7.1	Sondagens por Bairro .....	51
7.1.1	Bairro Primavera .....	51
7.1.2	Bairro Verdes Campos .....	52
7.1.3	Bairro Povoado Vila Bananeira .....	53
7.1.4	Bairro Baixa Grande.....	55
7.1.5	Bairro Centro .....	56
7.1.6	Bairro Santa Esmeralda .....	57
7.1.7	Bairro de Canafístula.....	58

7.1.8	Bairro Senador Arnon de Melo .....	60
7.1.9	Bairro Bom Sucesso.....	61
7.1.10	Bairro Povoado Pau D'arco .....	62
8	Análise de Resultados .....	65
8.1	Mapa de Locação dos Pontos de Sondagem SPT.....	65
8.2	Mapas de $N_{SPT}$ em Diferentes Profundidades .....	65
8.3	Mapas de Zoneamento Geotécnico .....	70
9	Conclusões .....	73
9.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	73
10	Referências Bibliográficas .....	75



## 1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista que em toda obra civil, independentemente do seu porte e/ou finalidade, é necessário a realização de um processo de investigação das características geotécnicas do solo que a receberá. Tal processo fornecerá informações relevantes para a definição do tipo de solução de fundação a ser utilizado, influenciando diretamente nos padrões de segurança, qualidade e economia da mesma. O processo de investigação geotécnica mais difundido no Brasil é o ensaio de campo denominado popularmente de SPT.

O presente trabalho consiste na análise cartográfica do município de Arapiraca, situado na região Agreste do estado de Alagoas, bem como, das suas características geográficas, e geotécnicas provenientes de boletins de sondagem de Sondagem de Simples Reconhecimento - *Standard Penetration Test (SPT)* objetivando a caracterização geotécnica de uma área de aproximadamente 351km<sup>2</sup>, que compreende o município em sua totalidade. (IBGE, 2010)

Para reunir as informações da caracterização da área em estudo utilizou-se *software* como ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para compilar esses dados em formas de mapas, cujas informações foram interpretadas com base em boletins de sondagens executados em diferentes pontos distribuídos pelo município. A seleção de dados foi realizada a partir de pontos de sondagem localizados nas áreas periféricas e centrais de Arapiraca, de modo que pudessem abranger uma área com maior representatividade.

Após a determinação dos pontos de sondagem com os respectivos valores de  $N_{SPT}$ , cota de nível de água, e profundidade do impenetrável, foi realizada a plotagem desses pontos sobre o mapa do município de Arapiraca através do *Google Earth Pro 2015*, a partir de coordenadas UTM.

A etapa seguinte consistiu a base de dados criadas a partir dos boletins e das coordenadas para a produção de mapas que mostram as características de cunho geotécnico que apresenta o subsolo do município de Arapiraca em sua totalidade, para as áreas intermediárias entre os pontos presentes na base de dados o *software* empregado realizou estimativas com base nas informações coletadas e no seu próprio sistema de informações geográficas.

Este trabalho é um estudo pioneiro no cenário do agreste alagoano, que reúne informações geotécnicas que podem ser utilizadas pela prefeitura da cidade

de Arapiraca como subsídio para mapear áreas para novas construções que sejam de seu interesse, bem como, para elaboração de um plano diretor que melhore o planejamento de crescimento urbano da cidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo geral deste trabalho é a identificar e caracterizar geotecnicamente o solo do município de Arapiraca – AL, por meio da análise de perfis de sondagem de simples reconhecimento - SPT.

### **2.2 Específicos**

- Zonear áreas com aspectos geotécnicos semelhantes;
- Verificar a variabilidade entre as camadas de mesma zona quanto ao tipo de solo encontrado;
- Mapear os furos de sondagem e as respectivas cotas dos níveis de água;
- Gerar cartas geotécnicas do município de Arapiraca.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Fundações

Denomina-se fundação a parte componente de uma estrutura que tem como função transmitir ao terreno subjacente seu próprio peso, o peso da superestrutura e qualquer outra força que esteja atuando sobre ela. Todo e qualquer tipo de fundação projetada de forma satisfatória deve suportar as cargas atuantes e distribuí-las sobre a superfície de contato na qual está apoiada. De modo que, tal distribuição não promova acréscimos de tensões que possam provocar ruptura no maciço de solo subjacente, bem como, inclinações e recalques significativos ao conjunto estrutural. (JOPPERT JR, 2007)

Segundo Joppert Jr. (2007) a fundação de uma edificação representa de 3% a 7% do custo total da mesma, entretanto, erros nas fases de projeto e/ou execução, podem gerar custos elevadíssimos, e até mesmo ações jurídicas.

No desenvolvimento de um projeto de fundações é indispensável o reconhecimento dos perfis dos solos envolvidos e de suas respectivas características geotécnicas. Para tal, são planejadas investigações geotécnicas com respaldo no estudo da hidrografia, orografia, geologia e pedologia da região. (PUC-RIO, cap.4, p. 51)

Para a escolha correta do tipo de fundação a ser empregada em determinado empreendimento, faz-se necessária uma minuciosa análise técnica e econômica, devendo-se observar fatores tais como: condições das edificações vizinhas, características geotécnicas do local, viabilidade executiva e existência de mão-de-obra qualificada para execução da solução definida. Neste ínterim, pode-se dizer que o controle de qualidade das fundações inicia-se pela escolha da melhor solução, caminha com a elaboração do projeto e finaliza-se com a execução, para entender da melhor forma a relação custo-benefício possível. (JOPPERT JR., 2007)

##### 3.1.1 Engenharia de Fundações

Engenharia de fundações caracteriza-se como uma vertente de conhecimento que abrange estudo, experiência e prevenção, com o objetivo de propor soluções à grande variação de tipologia dos problemas que se apresentam. O processo de

previsão de cargas admissíveis para um elemento de fundação e a profundidade ideal para sua implantação é extremamente complexo, devido à dificuldade de identificar a composição dos solos, os quais juntamente com os elementos de fundação constituem a infraestrutura. (ANDRADE,[s.d])

Todo e qualquer projeto de natureza geotécnica deve ser elaborado e executado a partir de resultados obtidos por meio de ensaios de campo que possibilitam a real estimativa acerca das propriedades geofísicas do subsolo. Essas características são imprescindíveis para elaboração de projetos seguros e econômicos. (SCHNAID, 2000)

### **3.2 Investigações Geotécnicas**

De acordo com Hachich *et al.* (1998) para a elaboração de projetos geotécnicos, principalmente de fundações, é necessário o conhecimento adequado do solo no tocante a sua identificação e classificação de camadas, bem como das suas propriedades de engenharia. Para isto, faz-se necessária a obtenção de amostras obtidas em ensaios “*in situ*”. Para a obtenção de características mais refinadas, existem ensaios laboratoriais que são utilizados especificamente para a obtenção desses parâmetros.

As investigações geotécnicas englobam estudos geológicos e geotécnicos que, em situações ideais deverão ser realizados concomitantemente. Estes tipos de estudos fornecerem informações de vital importância para a racional programação de trabalhos geotécnicos, necessários aos projetos de terraplenagem, de fundação de obras civis e a obtenção de materiais de construção (TOLEDO, 2012).

#### **3.2.1 Importância de um Projeto de Investigação Geotécnica para a Implantação de Obras de Fundações**

De acordo com Schnaid (2000), a necessidade de obtenção de dados, bem como a precisão destes varia de acordo com uma série de fatores: porte da edificação, funcionalidade, concepção estrutural adotada, problemas relativos ao solo, entre outras. No Brasil, o meio de obtenção de informações do solo mais utilizados são as de reconhecimento que apresentam custos variando entre 0,2 e 0,5% do custo total da obra, para aquelas consideradas de grande porte. Em casos

de edificações residenciais, estes valores podem alcançar 3 a 4% do valor total da obra. Para obras de grande porte é imprescindível a realização de procedimentos de investigação geotécnica, pois seus resultados podem influenciar diretamente no sucesso ou fracasso da execução e uso da edificação. Em casos residenciais fica à critério do projetista identificar a necessidade, ou não da realização do processo investigativo.

### 3.2.2 Programa de Investigação Geotécnica

Para Schnaid (2000) a determinação de um plano de investigação geotécnica é uma etapa crítica de projeto com a qual o engenheiro se depara cotidianamente, tal fato ocorre devido a gama de equipamentos e procedimentos disponíveis no mercado. Neste processo denominado pelo autor de “julgamento geotécnico” conhecimento, experiência, normas e práticas regionais, são partes fundamentais para a solução do problema. Recomenda-se, para um plano de investigação racional e satisfatório, sendo a aplicação dividida, basicamente, em duas fases: a fase de anteprojeto e a fase de projeto.

#### *3.2.2.1 Anteprojeto*

Nesta etapa é necessário que seja realizado um levantamento de escritório para determinação das características geológicas/geotécnicas da área de interesse e que as sejam realizadas sondagens geotécnicas para detalhamento do subsolo, de modo que sejam satisfeitas as exigências mínimas necessárias. Este processo é regulamentado pela Norma Brasileira NBR 8.036, que apresenta instruções quanto ao número, localização e profundidade das sondagens de simples reconhecimento. É importante salientar que esses números são estipulados em função do tipo de estrutura e das características do subsolo. (SCHNAID, 2000)

No decorrer desta monografia será abordado em seção posterior recomendações de autores e de norma quanto ao número, localização e profundidade das sondagens para o ensaio de SPT de forma mais detalhada.

### 3.2.2.2 Projeto

Segundo Schnaid (2000) durante a fase de projeto, bem como durante a execução da obra pode surgir a necessidade da realização de sondagens complementares em virtude das particularidades da mesma. Neste sentido, as sondagens complementares são realizadas para mitigar dúvidas existentes na fase de anteprojeto, ou para determinar mais precisamente características do subsolo para fins específicos de utilização da obra.

### 3.2.3 Métodos de Investigação Geotécnica

Os métodos de investigação geotécnica podem ser classificados em: diretos, indiretos e semidiretos. Os diretos permitem apenas identificar a existência de singularidades no terreno. Os indiretos permitem a retirada de amostras que permitem uma melhor análise do solo, como: identificação, classificação e resistência de suas camadas. Os semidiretos permitem a identificação de propriedades do solo como compressibilidade e resistência. (BRITO, 2010)

De acordo com Hachich *et al.* (1998), os principais ensaios de campo que são utilizados em todo mundo são:

- Standard Penetration Test (SPT);
- Standard Penetration Test complementado com medidas de torque (SPT-T);
- Ensaio de penetração de cone (CPT);
- Ensaio de penetração de cone com medida das pressões neutras (CPT-U);
- Vane Test;
- Ensaio pressiométricos;
- Dilatômetro de Marchetti;
- Provas de placa;
- Cross-Hole.

Dentre estes, destaca-se o SPT que tem utilização mais difundida no Brasil. O SPT-T é um pouco mais completo que o SPT e apresenta custo semelhante. Os ensaios de CPT e CPT-U são utilizados apenas em ocasiões em que se faz necessária uma análise mais detalhada do solo.

No que diz respeito às investigações geotécnicas, de uma maneira geral, podem ser subdivididas em investigações de superfície e de subsuperfície. As investigações de superfície produzem como resultados mapas, cartas geográficas, fotogrametria aérea, levantamentos topográficos e entre outros. As de subsuperfície, que produzem informações geofísicas, englobam basicamente os ensaios de campo, como: SPT, SPT-T, CPT e entre outros citados anteriormente neste item.

### **3.3 Sondagem de Simples Reconhecimento a Percussão (SPT)**

Segundo Hachich *et al.* (1998), a sondagem a percussão é um processo geotécnico de campo capaz de amostrar o subsolo. Essa técnica, quando utilizada em consonância com o ensaio de penetração dinâmica (SPT), é capaz de medir a resistência do solo ao longo da profundidade perfurada.

A cada metro perfurado de solo, é possível definir as seguintes informações: o tipo de solo através da coleta de uma amostra deformada e a resistência à penetração (N) oferecida pela cravação do amostrador-padrão, bem como os limites de suas camadas. Outro parâmetro que pode ser determinado é a posição do nível ou dos níveis de água, quando alcançados durante o processo de perfuração. (HACHICH *et al.*, 1998)

O SPT permite determinar, também a densidade de solos granulares, bem como a consistência de solos coesivos e rochas brandas. Tais informações possuem extrema importância para o projeto de fundações diretas e profundas. (SCHNAID, 2000)

Segundo Hachich *et al.* (1998) e, Costa e Moreira (2013), o SPT, apresenta simplicidade de execução, pela robustez do seu aparato e pelo seu baixo custo. Por esses motivos, a técnica é difundida no Brasil e em outros países.

#### **3.3.1 Normalização e Padronização do SPT (Standard Penetration Test)**

A normalização e padronização deste tipo de ensaio foi iniciada pela *International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering* (ISSMFE), estendendo-se de 1957 a 1988 até que em 1989 foi publicado em caráter oficial num congresso internacional no Rio de Janeiro o “Reference Test Procedure”.



Atualmente no Brasil o ensaio é normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas da Norma Brasileira (ABNT) NBR 6484/2001.(ODEBRECHT, 2003)

De acordo com Schnaid (2000, p. 9) *apud* Ireland, *et. al* (1970), não existe uma total padronização a nível internacional no que se refere ao equipamento e aos procedimentos de execução deste tipo de ensaio. Nota-se algumas diferenças que surgem de acordo com o desenvolvimento, investimento e às condições do subsolo de cada país ou região.

### 3.3.2 Equipamentos

De acordo com a Norma Brasileira NBR 6484/2001, os equipamentos (Figura 1) necessários para realização do ensaio SPT são: torre com roldana, tubos de revestimento, composição de perfuração, trado-concha, trado helicoidal, peça de lavagem, amostrador-padrão, cabeça de bater, martelo padronizado, haste-guia do martelo, balde para esgotamento do furo, medidor de nível d'água, metro de balcão, recipientes para amostras, bomba d'água centrífuga motorizada e caixa d'água com divisória interna para decantação.

Dentre os componentes supracitados, alguns necessitam de enfoque especial, estes terão suas principais características, de acordo com as observações de Schnaid e Odebrecht (2012).

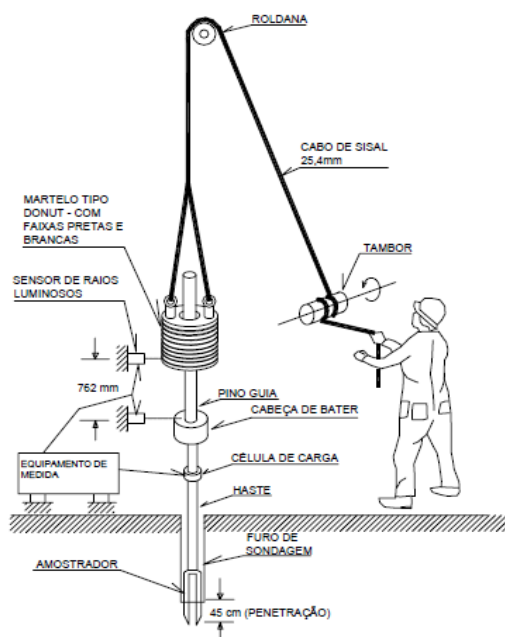
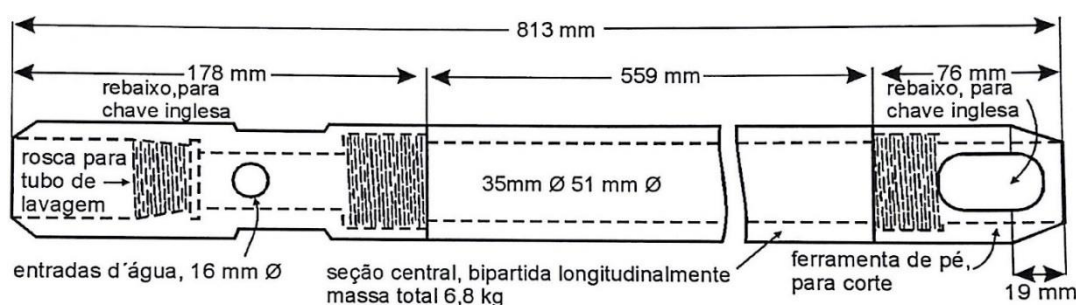


Figura 1 - Equipamento de Sondagem.

Fonte: (ODEBRECHT, 2003)

### 3.3.2.1 Amostrador

É basicamente composto por três partes: cabeça, corpo e sapata (Figura 1). A cabeça apresenta uma válvula de esfera e um orifício de drenagem que possibilita a saída da água do interior das hastes e permite a retenção do solo. O corpo é constituído por um tubo bipartido, que possibilita a inspeção tátil e visual da amostra, que após coletada deve ser acondicionada em recipiente hermético e levada ao laboratório, para que um engenheiro geotécnico ou um geólogo faça a classificação de suas características.



**Figura 2-** Amostrador padrão.

Fonte: SCHNAID, 2000

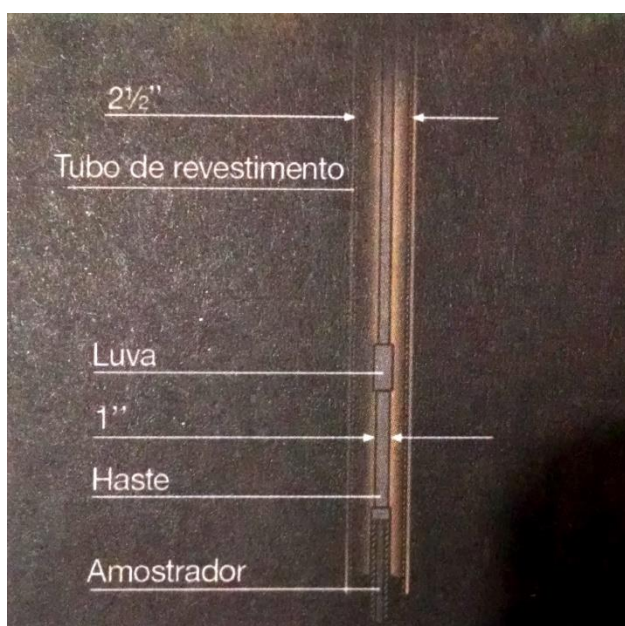
É imprescindível que se mantenham em ótimo estado todas do amostrador, o que garante resultados satisfatórios e em conformidade com o que é especificado em norma.

Nota-se que o amostrador tem dimensões padronizadas pela norma NBR 6484/2001, não havendo tolerâncias na prática brasileira. Todavia não é observada uma padronização internacional rigorosa, o que inviabiliza a comparação de resultados com outros países.

### 3.3.2.2 Hastes

As hastes consistem de tubos mecânicos com roscas em suas extremidades que permitem a ligação entre elas, que pode ser feita com um elemento simples de conexão como uma luva (Figura 2). De acordo com a NBR 6484/2001, as hastes devem possuir 3,23 kg por metro linear. Nota-se mais uma vez a não padronização internacional deste elemento. É importante observar se há desgaste nas roscas ou

empenamento nas hastes, para evitar problemas de execução e/ou resultados enganosos.



**Figura 3** - Esquema haste-amostrador.

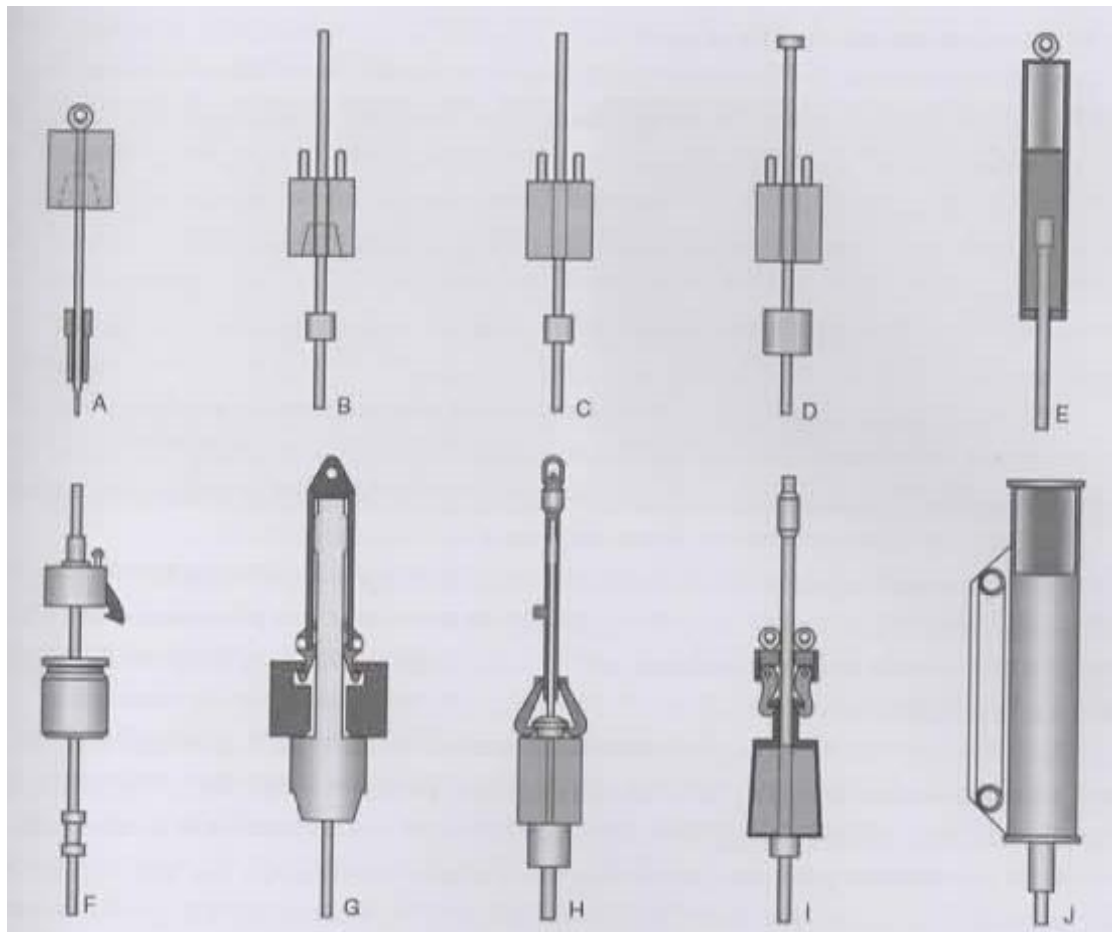
Fonte: (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012)

### 3.3.2.3 Martelo

O martelo é o elemento que aplica o golpe sobre o conjunto cabeça de bater, haste e amostrador assumindo a maior classe de variação de configurações, tanto no cenário nacional como no internacional. Segundo a NBR 6484/2001, este equipamento deve ser constituído de aço, com massa de 65 kg, diferentemente do que estabelece a ASTM D1286/1999 que é de 63,5 +/- 1 kg. Todas as dimensões, bem como, a geometria e o uso de um coxim de madeira na sua parte inferior (ponto de contato com a cabeça de bater) são especificados de forma detalhada na norma NBR 6484/2001.

Os tipos de martelo podem ainda ser classificados quanto ao seu tipo de queda como mostrado na Figura 3 e Tabela 1. Os que possuem controle de altura de queda e os que não possuem controle de altura de queda. Dentro dos que possuem controle, existem o que apresentam sistema de gatilho e os automáticos. Os de gatilho podem ser elevados manualmente ou por meio de guincho auto propellido. Os automáticos promovem a elevação da massa automaticamente, através de motores hidráulicos e apresentam altura de queda controlada, estas

especificidades permitem melhor controle e execução do procedimento. (SCHNAID; ODBRECHT, 2012)



**Figura 4** - Tipos de martelo.

Fonte: (SCHNAID; ODBRECHT, 2012)

Tabela 1- Tipos de martelo.

<b>Legenda</b>	<b>Nome</b>	<b>Coxim de madeira</b>	<b>Controle de altura de queda</b>
A	Martelo tipo pino guia	Sim	Não
B	Martelo vazado	Sim	Não
C	Martelo vazado	Não	Sim
D	Martelo vazado	Não	Sim
E	<i>Safety hammer</i>	Não	Não
F	Martelo com gatilho	Não	Sim
G	Martelo com gatilho	Não	Sim
H	Martelo com gatilho	Não	Sim
I	Martelo com gatilho	Não	Sim
J	Martelo automático	Não	Sim

Fonte: (SCHNAID E ODEBRECHT 2012)

#### 3.3.2.4 Cabeça de Bater

Trata-se de um elemento de aço maciço, com forma cilíndrica, que tem como função transmitir a energia do golpe do martelo para a haste. Deve o tarugo apresentar massa de 3,5 kg a 4,5 kg, 83 +/- mm de diâmetro e altura de 90 +/- 5 mm para estar em conformidade com o especificado na NBR 6484/2001. Este componente é exigido pela ASTM, mas não apresenta especificações geométricas ou de massa. (SCHNAID; ODBRECHT, 2012)

#### 3.3.2.5 Sistema de Perfuração

Para abertura do furo de sondagem utiliza-se comumente equipamentos a trado manual, dentre destes destacam-se o tipo helicoidal e o tipo concha, além do trépano de lavagem. Em sistemas mecanizados, a abertura do furo é feita com a introdução de um tubo com um helicoide na sua parte externa (*hollow auger*), que facilita a perfuração e promove o revestimento do furo de sondagem. (SCHNAID; ODBRECHT, 2012)

### 3.3.3 Operações Preliminares

Segundo Hachich *et al.* (1998) e Fonteles (2003), antes da execução do processo de sondagem deve-se determinar previamente os locais onde serão feitos os furos de sondagem, este processo deve ser feito em uma planta da área a ser investigada. É necessário ainda a limpeza do local, preparação do terreno e amarração de piquetes para levantamento topográfico.

### 3.3.4 Furos de Sondagem

Algumas medidas e cuidados devem ser observados no processo de locação dos furos de sondagem. Em edificações ou obras de pequeno porte, procura-se normalmente os pontos nos limites de projeção da edificação e onde estará a maior concentração de cargas. Comumente utiliza-se distância entre os pontos num intervalo de 15 metros a 30 metros, podendo existir exceções. Em obras situadas em grandes áreas o intervalo de variação de distâncias entre os furos é de 50 metros a 100 metros. (HACHICH *et al.*, 1998)

Os autores comentam, ainda, que se deve evitar a locação dos furos em linha reta, com a finalidade de produzir melhores resultados possibilitando sua interpretação em diversos planos de corte. Por menor que seja a área da edificação a ser construída, esta deverá conter mais de um furo de sondagem. Estes critérios são importantes para mitigar e/ou evitar os impactos advindos de quaisquer tipos de anomalias presentes no solo. É de vital importância para uma boa execução deste processo o nivelamento prévio dos furos por meio de um nível de referência fixo, único e bem determinado.

Existem, ainda, autores que determinam um número razoável de furos de sondagem que devem ser realizados a partir da área em que será executada a obra (Tabela 2). Segundo Costa e Moreira (2013, p. 17) *apud* Filho (1981, p. 46), “A profundidade mínima a ser atingida em cada sondagem será de 8 metros”.

*Tabela 2 - Quantidade mínima de furos em função da área de construção.*

Área em que será executada a obra (m <sup>2</sup> )	Número mínimo de furos
<200	2
200 a 400	3
600 a 800	4
800 a 1000	5
1000 a 1200	6
1200 a 1600	7
1600 a 2000	8
2000 a 2400	9
>2400	À critério

*Fonte: (MOREIRA; COSTA, 2013 apud UNISUL; AGUIAR, 2011 p. 17)*

### 3.3.5 Procedimentos

Para melhorar a didática sobre os procedimentos de execução do ensaio SPT, optou-se por subdividi-la em três etapas, tomando-se como base a obra “Ensaio de Campo” por Schnaid e Odebrecht (2012), como pode ser observado a seguir:

#### a) Execução do Ensaio

Inicialmente posiciona-se o amostrador no fundo da perfuração, na profundidade de ensaio, na sequência coloca-se cautelosamente o martelo sobre a cabeça de bater (conectada à composição da haste) e mede-se a penetração da composição decorrente do peso próprio do martelo. Sendo este valor representativo, deve-se registrá-lo na folha de ensaio (p. ex., P/28 - peso para 28 cm de penetração permanente). Em situações em que não se observa penetração resultante do peso próprio do aparato, toma-se como procedimento realizar marcações sobre a haste em três seguimentos de 15 cm cada, e inicia-se a cravação, contando o número de golpes necessários para a cravação de cada seguimento (p. ex., 6/15, 5/15 e 9/15). Porém, nem sempre é possível obter um número exato de golpes para cada 15 cm de penetração. Dessa forma anota-se o valor efetivamente aplicado (p. ex., 6/14,

5/16 e 9/15). O número de golpes ( $N_{SPT}$ ) utilizado nos projetos de engenharia é a soma dos valores correspondentes aos últimos 30 cm de penetração do amostrador.

Apresenta-se, também, o número de golpes para a penetração dos 30 cm iniciais. Diferenças elevadas no número de golpes referentes aos primeiros e aos últimos 30 cm poderão indicar o amolgamento do solo, ou deficiência na limpeza do fundo do furo de sondagem.

Existem, ainda, duas formas de representações adicionais: quando o solo é mole ou muito resistente. No caso de solos moles, pode ocorrer que um único golpe, seja suficiente para penetrar além dos 15 cm iniciais, registrando o número de golpes com a penetração correspondente (p. ex., 1/40 – 40 centímetros de penetração para um golpe). No caso de solos muito resistentes, pode ser necessário um número superior a 30 golpes para a penetração dos 15 cm. Nesta situação, registra-se o número de golpes efetivamente executados com a respectiva penetração (p. ex., 30/12 – 30 golpes para 12 cm de penetração). Limita-se o número de golpes para evitar danos às roscas e à linearidade das hastes.

#### b) Procedimento de perfuração

Como já explicitado anteriormente, não existe apenas um procedimento único de perfuração. A depender das condições do subsolo e do sistema de perfuração utilizado, procedimentos e equipamentos distintos podem ser empregados.

Para o procedimento de perfuração manual acima do nível freático deve ser executada com trados helicoidais. Para perfuração abaixo do nível freático, é utilizado um sistema de circulação de água, bombeada pelo interior das hastes até a extremidade inferior do furo, na cota onde se posiciona o trépano para a desintegração do solo. No caso de equipamentos mecanizados, a perfuração é realizada com o tubo *hollow auger* (Figura 5), munido de conexões que permitem a sua extensão à cota de ensaio.





*Figura 5 - Sistema de tubos hollow auger.*

*Fonte: Conteúdo da internet, disponível em: <http://www.bsindustria.com.br/produto/29/descriçao>*

É importante salientar que independentemente do procedimento utilizado, é necessário que sejam tomados cuidados especiais para evitar o amolgamento do solo na cota de ensaio, e garantir a remoção do solo escavado no fundo da perfuração. No caso de dificuldades para manter o furo aberto, deve-se proceder à perfuração com o uso de tubo de revestimento ou algum tipo de estabilizante (lama bentonítica ou polímero).

Quanto ao diâmetro da perfuração, a NBR 6484/2001 recomenda 73 cm (2 $\frac{1}{2}$ "); a ASMT, porém, permite a adoção de diâmetros superiores.

#### c) Forma de elevação e liberação do martelo

A elevação do martelo pode ser realizada de forma manual ou mecanizada. No primeiro caso, o martelo é içado pelos operadores, auxiliados ou não pelo uso do sarrilho. Nos sistemas mecanizados, por sua vez, o martelo é elevado por um guincho autopropelido.

#### 3.3.6 Critérios de Interrupção do Processo de Cravação do Amostrador

A norma NBR 6484 (2001, p. 13) especifica que a cravação do amostrador-padrão é interrompida antes dos 45 cm de penetração sempre que ocorrer uma das seguintes situações:

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

### 3.3.7 Relatório de Resultados

De acordo com a norma NBR 6484 (2001, p.16), o relatório definitivo de sondagem (Figura 6) deve conter os seguintes dados:

- Nome da empresa e do interessado;
- Local e natureza da obra;
- Descrição sumária do método e dos equipamentos na realização das sondagens;
- Total perfurado em metros;
- Declaração de que foram obedecidas as normas brasileiras relativas ao assunto;
- Outras observações e/ou comentários pertinentes; e
- Referências aos desenhos constantes no relatório.

Deve conter ainda um desenho contendo:

- Planta do local da obra, cotada e amarrada a referências facilmente encontráveis, de forma a não deixar dúvidas quanto à sua localização;
- Planta contendo a posição da referência de nível (RN) tomada para o nivelamento da(s) boca(s) do(s) furo(s) de sondagem(ens), bem como a descrição sumária do elemento físico tomado como RN;
- Localização das sondagens, cotadas e amarradas a elementos fixos e bem definidos no terreno; (NBR 6484, 2001 p.16)

Bem como, os resultados das sondagens em desenhos contendo o perfil individual de cada sondagem ou seções do subsolo, nos quais devem constar, obrigatoriamente:

- Nome da empresa executora das sondagens, o nome do interessado ou contratante, local da obra, indicação do número do trabalho e os

vistos do desenhista, engenheiro civil ou geólogo, responsável pelo trabalho;

- Diâmetro do tubo de revestimento e do amostrador empregados na execução das sondagens;
- Número(s) da(s) sondagem(s);
- Cota(s) da(s) boca(s) dos furo(s) de sondagem, com precisão centimétrica;
- Linhas horizontais cotadas a cada 5 m em relação à referência de nível;
- Posição das amostras colhidas, devendo ser indicadas as amostras não recuperadas e os detritos colhidos na circulação de água;
- As profundidades, em relação à boca do furo, das transições das camadas e do final da(s) sondagem(s);
- Índice de resistência à penetração N ou relações do número de golpes pela penetração (expressa em centímetros) do amostrador;
- Identificação dos solos amostrados e convenção gráfica dos mesmos conforme a NBR 13441;
- A posição do(s) nível(is) d'água encontrado(s) e a(s) respectiva(s) data(s) de observação(ões), indicando se houve pressão ou perda de água durante a perfuração;
- Indicação da não ocorrência de nível de água, quando não encontrado;
- Datas de início e término de cada sondagem;
- Indicação dos processos de perfuração empregados (TH trado helicoidal, CA - circulação de água) e respectivos trechos, bem como as posições sucessivas do tubo de revestimento e uso de lama de estabilização quando utilizada;
- Procedimentos especiais utilizados, previstos nesta Norma; e
- Resultado dos ensaios de avanço de perfuração por circulação d'água. (NBR 6484, 2011 p. 16)

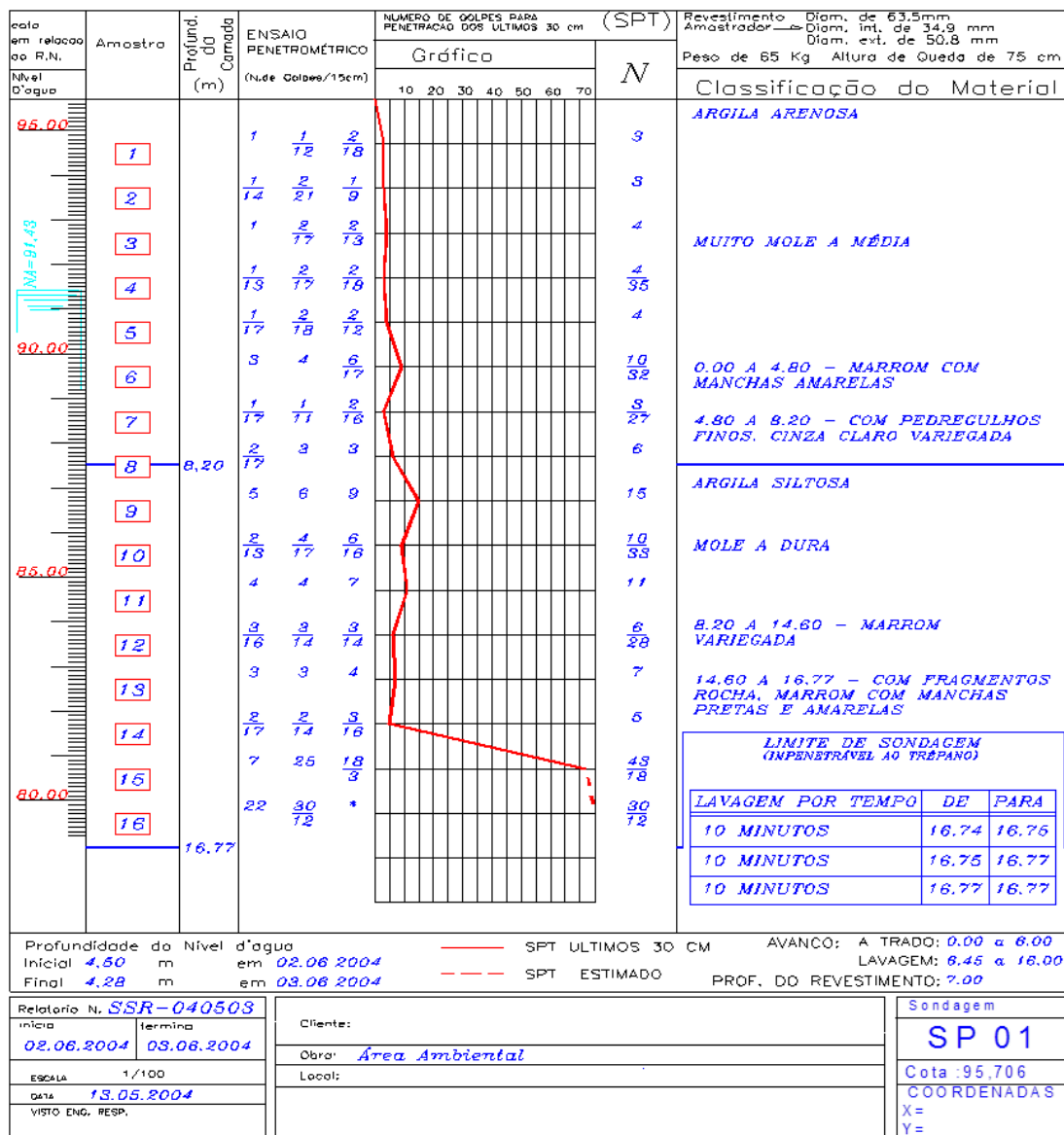


Figura 6 - Boletim de sondagem.

Fonte: Notas de aula de fundações (SOUZA, 2015).

### 3.3.8 Fatores que Influenciam no $N_{SPT}$

Os fatores que influenciam diretamente nos resultados obtidos em sondagens do tipo SPT possuem total relação com o equipamento utilizado, com a forma de execução do ensaio e com o tipo de solo.

#### 3.3.8.1 Erros Provenientes do Equipamento e Execução

Como sugere o subtítulo acima, nesta seção os fatores influentes  $N_{SPT}$  podem ser divididos em dois: a material, correspondente aos equipamentos e; humana,

correspondente a sua operação. Haja visto que o aparato utilizado no ensaio é de fácil obtenção e sua operação sofre influência humana direta. (FONTELES, 2003)

Ainda de acordo com Fonteles (2003) *apud* Bellicanta e Cintra (1998), os principais fatores que podem acarretar na ineficiência do ensaio de SPT, são:

- A realização do procedimento de cravação direta do amostrador, não observando o que defende a NBR 6484/2001, no que diz respeito a realização de uma perfuração por trado implica que deve ser efetuada no solo antes da cravação do amostrador. Essa precaução evita que os valores de N sejam mais altos do que deveriam;
- Desgaste das hastes, e;
- A utilização de artifícios que diminuam a ação humana direta, como o acionamento da queda do martelo por gatilho, que proporciona maior eficiência quando comparado ao sistema de liberação manual;

Os autores ressaltam ainda que a utilização de do coxim, ou a utilização de cabo de aço em detrimento da corda, são aspectos que não afetam significativamente a eficiência do ensaio, desde que, todos os materiais estejam em ótimo estado de conservação

#### *3.3.8.2 Erros Provenientes do Tipo de Solo*

Segundo Schnaid (2000), o ensaio de campo ideal deve impor um caminho de tensões e nível de deformações uniforme em toda massa envolvida no processo, complementado por condição perfeitamente não-drenada ou de total dissipação neutra. Este raciocínio é fundamentado nas características básicas do comportamento dos solos.

A Tabela 3 expõe, de forma sucinta e objetiva, os principais fatores que afetam a penetração.

**Tabela 3** - Influência das propriedades de solos granulares na resistência à penetração.

CAUSA	EFEITO
Índice de vazios	Sua redução, aumenta a resistência à penetração
Tamanho médio da partícula	Seu aumento, aumenta a resistência à penetração
Coeficiente de uniformidade	Solos uniformes possuem menor resistência
Pressão neutra	Solos finos e densos dilatam aumentando a resistência, enquanto solos finos e muito fofos podem ser liquefeitos durante o procedimento de cravação
Angulosidade das partículas	Seu aumento, aumenta a resistência à penetração
Cimentação	Aumenta a resistência
Nível de tensões	Seu aumento vertical ou horizontal, aumenta a resistência
Idade	Seu aumento, aumenta a resistência

Fonte: SCHNAID (2000, p. 13), adaptada pelo autor desta monografia.

### 3.3.9 Classificação do Solo Quanto o $N_{SPT}$ .

A Tabela 4 foi adaptada da norma NBR 6484/2001 que classifica os níveis de compactidade e consistência do solo de acordo com o valor de  $N_{SPT}$ .

**Tabela 4** - Classificação dos solos de acordo com o valor de  $N$ .

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

Fonte: NBR 6484/2001, adaptada pelo autor desta monografia.

### 3.4 Mapeamento Geotécnico

Mafrá Jr. (2007) *apud* Santos (1997), propõe que o mapa geotécnico é um instrumento de gestão territorial, à medida que estabelece o zoneamento do solo com características das unidades diferenciadas segundo critérios do meio físico, que deverão ser observadas com tratamento específico para seu uso, visando evitar problemas da ocupação inadequada.

Outro conceito clássico de mapa geotécnico é o abordado por Silva (2008) *apud* IAEF (1976), que considera que o mapa geotécnico é um tipo de mapa geológico que classifica e representa os componentes do ambiente geológico, os quais são de grande significado para todas as atividades de engenharia, planejamento, construção, exploração e preservação do ambiente.

#### 3.4.1 Sistemas de Informação Geográfica – SIG

Os SIG's podem ser definidos como sistemas que dispõem de uma base de dados espaciais, atividades ou eventos referenciados como pontos, linhas ou áreas, cuja análise gera novas informações que podem ser utilizadas para diversas finalidades. (SILVA, 2008 *apud* PARENT, 1998)

Segundo Silva (2008) as informações coletadas com base em SIG's provêm de bancos de dados, vetores, matrizes e *rasters*. O autor comenta ainda, que os processos de desenvolvimento e aprimoramento dos SIG's têm sido observados há mais de duzentos anos, dentro disto, esses não devem ser associados a uma pessoa ou entidade.

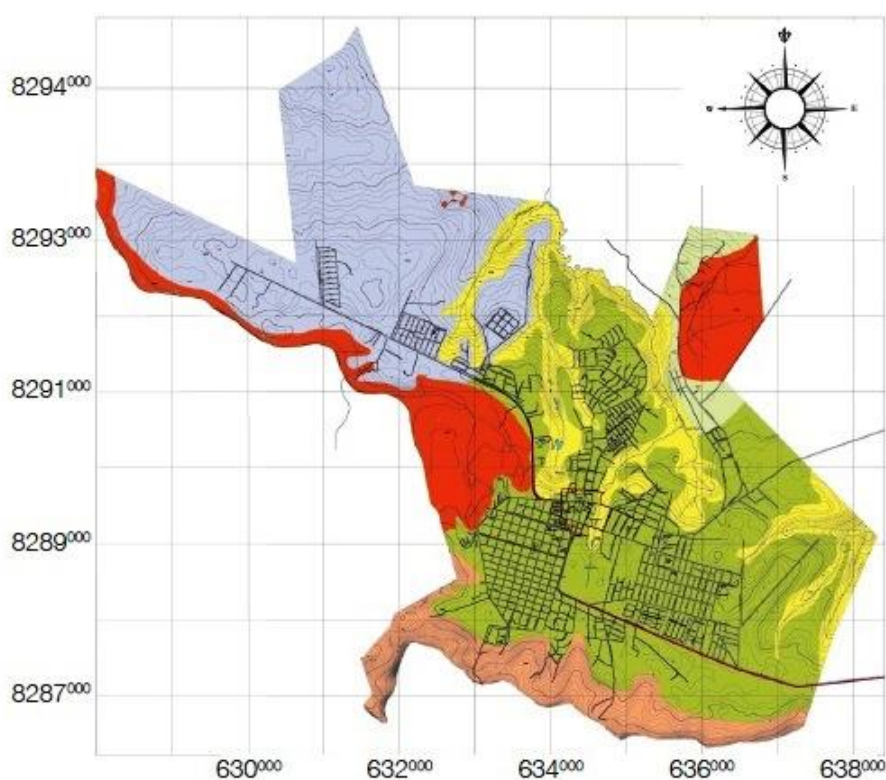
#### 3.4.2 Cartografia Geotécnica

Para que se torne possível analisar geotecnicamente determinada área (terreno), é necessário produzir como fonte de análise mapas ou cartas geotécnicas com os parâmetros relevantes para tal. Desta forma, faz-se necessário o entendimento de alguns conceitos sobre o assunto, que serão explanados nos parágrafos seguintes.

Cartografia geotécnica é o termo utilizado para designar resultados cartográficos que expressam a prática do conhecimento geológico afim de solucionar problemas advindos do uso e ocupação do solo (SOUZA; SOBREIRA,

2014 *apud* PRANDINI, 1995), ou que tenham como finalidade caracterizar e/ou retratar informações dos componentes e os comportamentos do meio físico frente aos diferentes tipos de ocupação, avaliando suas limitações e seus potenciais (SOUZA; SOBREIRA, 2014 *apud* ZUQUETTE, 1993).

De acordo com Souza e Sobreira (2014) *apud* Freitas (2000), cartas geotécnicas podem ser utilizadas como produto proveniente da necessidade de caracterização dos terrenos, levando em conta atributos ou parâmetros de seus componentes físicos, que possibilitam realizar uma análise dinâmica da crosta terrestre.



**Figura 7** - Exemplo de mapa cartográfico.

Fonte: (SOUZA e SOBREIRA, 2014.)

Cartas geotécnicas (Figura 7) podem conter informações geomecânicas como níveis de resistência média a penetração de determinado amostrador-padrão, classificação geotécnica do solo e do subsolo, entre outras. Tais informações se analisadas em consonância com processos de investigação de campo, laboratório e geoprocessamento, podem produzir como resultados diretrizes para o planejamento



urbano, de uso e ocupação do solo, evitando problemas futuros. (SILVA, 2008 *apud* SOUZA 1995)

### 3.4.3 Forma da Superfície Terrestre

A intitulação atribuída ao formato geométrico da Terra é geóide, apesar de, ao nível médio do mar, a terra apresentar uma superfície semelhante à de uma esfera, não pode ser considerada como uma, tendo em vista que apresenta formas achatadas nos pólos e um intumescimento no equador. (SILVA, 2008)

O autor supracitado defende ainda que, não existe um modelo matemático capaz de representar um geóide como a superfície da Terra ao nível médio do mar, devidos às irregularidades que apresenta. Desta maneira, com a finalidade de experimentá-la através de modelos matemáticos, utiliza-se uma aproximação de forma geométrica, admitindo que a mesma assume forma elíptica.

É comum encontrar-se como forma de representação cartográfica da superfície terrestre uma elipse ou elipsóide de revolução, por apresentar dois semi-eixos de tamanhos distintos, e porque sua formação geométrica se dá pela revolução destes semi-eixos. (SILVA, 2008)

Ainda, de acordo com Silva (2008), existem dois planos de referência denominados de *Datum*, imprescindíveis a aplicação local do elipsóide. Eles se posicionam em relação à Terra real, sendo o primeiro denominado de *Datum* planimétrico ou horizontal, onde compõe-se a base para o cálculo dos levantamentos de controle horizontal, para tal, são necessárias informações para definição do elipsoide de referência, tais como: as coordenadas do ponto de origem, a orientação (azimute inicial), a separação geóide-elipsóide (ondulação geoidal), e as componentes do desvio da vertical (meridiana e primeiro vertical). O segundo é denominado de *Datum* vertical, que diz às altitudes, contadas a partir do nível do mar. No Brasil o *Datum* vertical, que fixa como referência o nível médio registrado pelo marégrafo, está instalado em Imbituba, Santa Catarina.

O mesmo autor ressalta que um determinado elipsóide de revolução não pode descrever satisfatoriamente toda a superfície terrestre, neste íterim, cada país produz elipsóides com características diferentes, para melhor representar seu território. Atualmente o Brasil adota como elipsoide oficial, é o da União Astronômica Internacional, o *SAD 69* (*South America Datum 1969*).

#### 3.4.4 Ferramentas Estatísticas como Ferramenta de Composição Espacial ou Geodésia

Existem diversos fatores que influenciam na formação dos solos e, por conseguinte, nas suas características e propriedades geomecânicas, dentro disto, a análise de informações e dados provenientes de processos naturais, carece inicialmente de um tratamento estatístico. Para tal, faz-se uso de ferramentas matemáticas de estatística básica, tais como: a média aritmética, mediana, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, histograma, coeficiente de curtose e coeficiente de assimetria. (SILVA, 2008)

De acordo com Silva (2008) *apud* Sturaro (1993), as ferramentas anteriormente citadas podem ser divididas da seguinte maneira:

- Medidas de localização: média e mediana;
- Medidas de dispersão: variância e desvio-padrão;
- Medidas de forma: coeficientes de variação, assimetria e curtose.

Contudo, estudiosos defendem que ao se estudar fenômenos naturais, principalmente nos quais a localização espacial trata-se de um aspecto crucial em relação a variável de estudo, a estatística aplicada com instrumentos matemáticos básicos não é suficiente para uma reprodução adequada das variações existentes. Pois, não representa variabilidade espacial, não indica o tamanho ideal do domínio de estimação e não determina erros, ou incertezas, associadas à estimação em locais não amostrados em caso de interpolação. (SILVA, 2008 *apud* Camargo 1988)

O método de interpolação utilizado na geoestatística e tido como mais eficiente por diversos estudiosos do assunto, tem denominação aportuguesada de krigagem, tal método é resultante de um estudo de concentração de blocos mineralizados de ouro, realizado pelo sul-africano Daniel G. Krige, em 1950, que impulsionou o engenheiro francês George Martheron a estudar o comportamento de variáveis distribuídas espacialmente e que representam um determinado fenômeno natural. (SILVA, 2008 *apud* STURARO 1993)

### 3.4.5 Principais Tipos de Mapeamento Geotécnico Utilizados no Brasil

De acordo com Mafra Jr. (2007), existem diversas metodologias utilizadas para elaboração de cartas geotécnicas, dentre as quais, três se destacam e serão descritas resumidamente nos itens a seguir.

#### *3.4.5.1 Metodologia IPT*

Desenvolvido ao longo da década de 1980, o método do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), baseia-se em problemas específicos do meio físico localizados nas encostas dos morros de Santos e São Vicente, litoral paulista, visando solucioná-los através de técnicas de prevenção e correção. Essa metodologia subdivide as cartas geotécnicas em dois grupos: o das cartas geotécnicas propriamente ditas, mostrando limitações e potencialidades dos terrenos definindo parâmetros para seu uso e ocupação; e o das cartas de risco, quando apresentam riscos em potencial, tais como: inundação, erosão e entre outros. (MAFRA JR., 2007 *apud* PRANDINI *et al*, 1980)

#### *3.4.5.2 Metodologia EESC – USP*

Este método foi desenvolvido pelo grupo de pesquisadores do Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP), na década de 1980, assim como o método do IPT, tomando como base trabalhos de mapeamento geotécnico produzidos, principalmente, no estado de São Paulo. Trata-se de uma metodologia complexa e abrangente, obedece ao princípio global de processo, desde a coleta de dados até a elaboração de cartas específicas aos usuários. Analisa o meio físico, como embasamento para elaborar diversas formas de ocupação. (MAFRA JR., 2007 *apud* ZUQUETE, 1987)

#### *3.4.5.3 Metodologia UFRJ*

O Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), apresenta uma metodologia de mapeamento geotécnico baseada no tratamento de diferentes aspectos de acordo com a escala do mapeamento, como função dos objetivos a alcançar. De maneira mais simples, as unidades são agrupadas em dois

setores geológico-geomorfológicos: as áreas de baixada e as encostas. Para as primeiras, são empregadas informações de levantamentos pedológicos, e para as demais, os perfis de solos são a base para a definição das unidades geotécnicas. (MAFRA JR., 2007 *apud* BARROSO, 1989).

#### 4 TRABALHOS REALIZADOS COM MAPEAMENTO E SPT

Zaine (2000) realizou uma pesquisa que teve como tema central o mapeamento geológico-geotécnico de áreas urbanas analisando os dados do meio físico geológico, bem como a representação cartográfica de unidades geotécnicas. O estudo envolveu a análise as metodologias utilizadas nos trabalhos de cartografia geotécnica, com enfoque especial para duas linhas metodológicas brasileiras, ou seja, as metodologias utilizadas pela Escola de Engenharia de São Carlos e pelo IPT. O trabalho apresenta o método do detalhamento progressivo como alternativa aos estudos geológico-geotécnicos, tendo como objetivo principal a produção de instrumentos adequados para a gestão e o planejamento urbanos, ante as necessidades de seus principais usuários.

Fonteles (2003) desenvolveu um trabalho resultante da aplicação de técnicas de geoestatística de análise da variabilidade espacial e de estimativas de sondagem de simples reconhecimento (SPT), objetivando a caracterização de uma área situada na porção nordeste da cidade de Fortaleza – CE. Neste trabalho foram elaborados mapas de uso sugerido de fundações, baseado em limites de impenetrável ao SPT, e, nos dados estimados de  $N_{SPT}$ .

Soares (2011) desenvolveu um trabalho para a elaboração de um banco dados geológico-geotécnicos da cidade de João Pessoa na Paraíba a partir de sondagens SPT. O resultado deste trabalho foi uma série de mapas que servem como subsídios às ações de planejamento e gestão urbanas do município, assim como meio acadêmico e profissional. A pesquisa envolveu etapas preparatórias essenciais para a estruturação do banco de dados e para o desenvolvimento de análises e modelagens espaciais, tais como a geração da base topográfica digital da área de estudo, a produção do Modelo Digital do Terreno e a localização e inserção das informações geológicos-geotécnicas obtidas nos perfis das sondagens. Os principais resultados foram: mapas do lençol freático e mapas com uso sugerido para fundações em três setores distintos da área de estudo e para diferentes profundidades.

Câmara e Pereira (2005) realizaram a caracterização geotécnica da cidade de Natal, para fins de obtenção de parâmetros de resistência ao cisalhamento, e de deformabilidade do material coletado através de relatórios de sondagem tipo SPT de diferentes zonas da cidade.

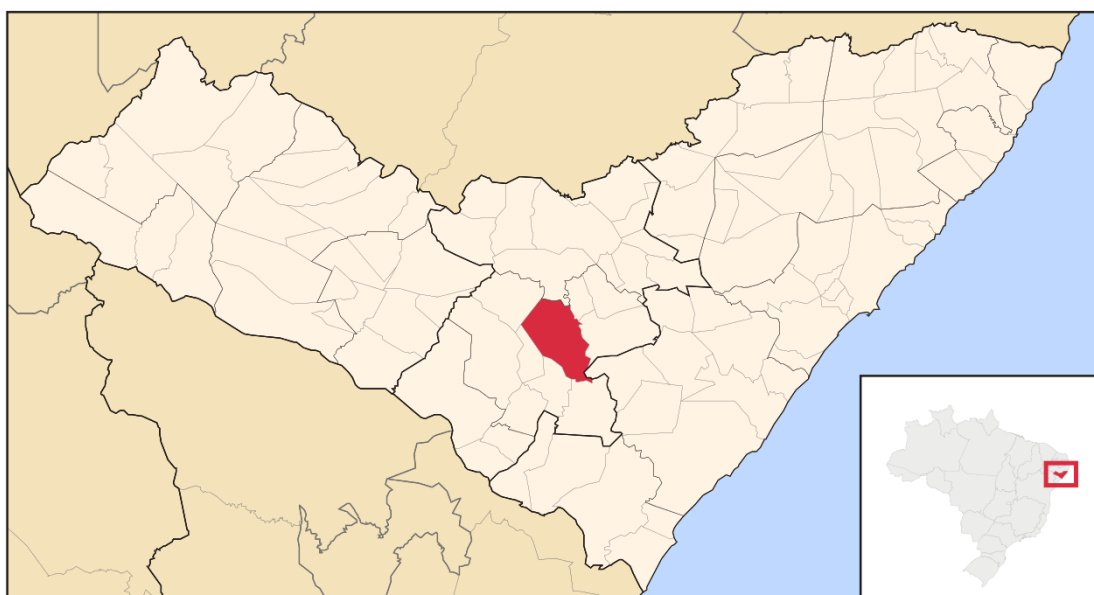
Sousa (2010), a partir do mapeamento geotécnico da cidade de Belém - PA, analisou de zonas de camadas de solo através de laudos de sondagem do tipo SPT em diferentes áreas da cidade. O autor propõe um esquema de zoneamento da cidade através da análise de parâmetros como: estratigrafia do subsolo da cidade, cota de profundidade do impenetrável, nível de água e o tipo de solo.

Costa e Moreira (2013) realizaram a análise técnica do subsolo de Santarém, no estado do Pará, através de laudos de sondagem. Os autores produziram um diagnóstico para 13 bairros da cidade de Santarém, além de uma análise técnica do subsolo objetivando a comparação dos bairros em relação ao  $N_{SPT}$ , nível d'água, estratigrafia e espessuras das camadas.

## 5 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ARAPIRACA – AL

### 5.1 Localização e Acesso

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município possui população de 218.140 habitantes (estimativa de 2011) e de aproximadamente 351 km<sup>2</sup>, com densidade demográfica de 599,7 h/km<sup>2</sup>. A cidade, situa-se numa ampla planície (Figura 8), fica a 265 metros de altitude, distando 123 quilômetros, da capital do estado de Alagoas e 44 quilômetros de Palmeira dos Índios. Sua sede apresenta as coordenadas geográficas de 9°45'09" de latitude sul e 36°39'40" de longitude oeste.



**Figura 8** - Localização geográfica do município de Arapiraca.

Fonte: Conteúdo da internet, disponível em: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1044519>

### 5.2 Aspectos Fisiográficos

De acordo com o relatório da CPRM – Serviço Geológico do Brasil publicado em agosto de 2005, seu relevo encontra-se na unidade dos *Tabuleiros Costeiros* com solos profundos e de baixa fertilidade natural. O clima é *Tropical Chuvoso* com verão seco, com precipitação média anual de 1.634.2 mm. A vegetação é do tipo *Floresta Subperenifólia*, com parcelas de *Floresta Subcaducifólia* e *cerrado/floresta*. O solo varia de composição de acordo com o relevo assumindo a classificação de *Latossolo* e *Podzólicos* nos topos de chapadas e residuais.

De acordo com o relatório publicado pela secretaria de agricultura do governo do estado de São Paulo *Latossolos* são solos minerais, homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecido facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade. Os Latossolos são profundos, bem drenados e com baixa capacidade de troca de cátions, com textura média ou mais fina (argilosa, muito argilosa) e, com mais frequência, são pouco férteis.

Segundo a Agência de Informação Embrapa *Podzólico* são solos minerais, não-hidromórficos, com horizonte A ou E (horizonte de perda de argila, ferro ou matéria orgânica, de coloração clara) seguido de horizonte B textural, com nítida diferença entre os horizontes. Apresentam horizonte B de cor avermelhada até amarelada e teores de óxidos de ferro inferiores a 15%. Podem ser eutróficos, distróficos ou álicos. Têm profundidade variadas e ampla variabilidade de classes texturais.

### **5.3 Geologia**

Segundo a CPRM – Serviço Geológico do Brasil em relatório publicado em agosto de 2005, o município de Arapiraca encontra-se geologicamente inserido na Província Borborema, abrangendo rochas do embasamento gnáissico-migmatítico, datadas do Arqueano ao Paleoproterozóico e a sequência metamórfica oriunda de eventos tectônicos ocorridos durante o Meso e NeoProterozóico. A Província é representada pelos litótipos dos complexos Nicolau/Campo Grande e Marancó e dos grupos Macururé e Barreiras.

### **5.4 Aspectos sociais**

De acordo com dados da Prefeitura Municipal, a cidade de Arapiraca tornou-se um grande centro comercial na região do agreste alagoano, configurando assim a segunda Região Metropolitana de Alagoas, criada em 1 de dezembro de 2009, pela Lei Complementar 27/2009. Tal região comporta Arapiraca e mais 19 municípios circunvizinhos.

Nos dias atuais é enorme o ritmo de crescimento do mercado imobiliário, com a implantação de inúmeros conjuntos habitacionais, condomínios e loteamentos. Outro setor que apresenta notório crescimento é o da Educação, sobretudo de nível



superior que além das duas universidades públicas, UNEAL e UFAL, conta com a chegada de faculdades privadas.

## **5.5 Histórico Econômico**

Dados do IBGE indicam que Arapiraca, antes de tornar-se município independente, destacava-se economicamente através da agricultura, com o plantio de fumo. O fumo chamado na região de "ouro verde" atraiu famílias tradicionais que decidiram se estabelecer no local, desta forma, logo Arapiraca alcançou maior desenvolvimento econômico que Anadia e elevou-se à categoria de município.

No entanto, devido à enorme lucratividade oriunda do cultivo de fumo, a cada safra surgiam inúmeros novos agricultores, a partir da década de 1970, a produção desenfreada do fumo acarretou em um excesso do produto nas pequenas indústrias de beneficiamento do tabaco que haviam na região, e a diminuição no preço foi inevitável, provocando um processo contínuo de decadência da fumicultura. Este incidente obrigou o município a promover outro instrumento de crescimento econômico, passando a investir em seu comércio, sobretudo na feira livre.

De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), no ano de 2006, Arapiraca apresentou a terceira maior evolução de PIB no Nordeste, cerca de 18,27%, ficando atrás apenas de Mossoró (RN) e Campina Grande (PB). Isto justifica-se basicamente devido a sua localização geográfica privilegiada no interior do estado, tornando-a o principal pólo de abastecimento agropecuário, comercial, industrial e de serviços. Atingindo aproximadamente 40 municípios, cerca de 1 milhão de pessoas.

Haja vista, o conteúdo dos itens anteriores percebe-se que o município se encontra em um acelerado processo de crescimento e urbanização que por sua vez, implica diretamente na modernização e diversificação das suas obras civis, tornando-se inevitável o processo de verticalização. Desta forma, surge a necessidade de aprimoramento dos processos de construção e concepção de edificações que exigem conhecimentos mais aprofundados do solo da região para sua implantação e execução.

## **6 METODOLOGIA UTILIZADA**

### **6.1 Levantamento dos dados dos perfis de sondagem da cidade de Arapiraca.**

O presente estudo possui como fonte de evidências dois tipos de básicos dados, a partir dos quais foi possível fundamentar a pesquisa, sendo estes: o mapa do município e os dados de sondagem SPT.

#### **6.1.1 Mapas**

A Prefeitura Municipal de Arapiraca disponibilizou o mapa de ruas da cidade em formato dwg, ou seja, em ambiente cad. Tal mapa foi utilizado para localização dos endereços das localidades onde foram realizados os furos de sondagem, possibilitando maior precisão no momento de obtenção das suas coordenadas.

#### **6.1.2 Sondagens SPT**

A utilização de sondagens SPT como fonte de dados para trabalhos de caracterização de grandes áreas é corriqueira e satisfatória, levando-se em consideração que se trata de um método investigativo largamente difundido e realizado, bem como, de fácil obtenção de dados.

Os boletins de sondagem utilizados como base dados para elaboração dos mapas encontrados no Capítulo 8 deste trabalho, foram obtidos junto à Prefeitura Municipal de Arapiraca, que disponibilizou 10 boletins de sondagens realizadas em diferentes bairros da cidade, com uma média de 3 ou 4 furos por sondagem, porém com o resultado apenas para o furo médio da localidade. Os bairros contemplados pelos boletins são: Primavera, Verdes Campos, Canafístula, Bom Sucesso, Senador Arnon de Melo, Povoado Vila Bananeira, Pau D'arco, Centro, Baixa Grande e Santa Esmeralda.

### **6.2 Edição dos Perfis de Sondagem por Bairro**

De posse dos boletins de sondagens algumas medidas precisaram ser tomadas para o processamento de suas informações. Cada boletim de sondagem é

constituído por um grupo de furos, cuja posição, nomenclatura e localização são plotadas sobre o mapa da cidade, facilmente através do *GoogleMaps*. Tais informações são de grande valia, pois, constituem a única forma de localizar os furos no SIG. Além das informações citadas, os boletins apresentam, também, uma página chamada de boletim de ensaio do furo, que contém dados como: os valores dos números de golpes, as diferentes camadas de solo, a posição do nível do lençol freático (quando detectada), dentre outras informações.

Para cada boletim de sondagem, e conseqüentemente, uma localidade, foi criada uma planilha resumo no *Excel*, associada a um gráfico. Foi produzido apenas um gráfico para cada boletim, um furo médio de uma quantidade total de 3 a 4 furos. Desta forma, foram dispostas na planilha informações, tais como: coordenadas do ponto de sondagem (latitude e longitude), endereço (bairro e rua, quando apresentados), designação do ponto (p. ex. 1, 2, ...), cota do nível de água e o  $N_{SPT}$  por metro.

Para a determinação das coordenadas dos pontos de sondagem, fez-se a plotagem desses pontos sobre o mapa do município de Arapiraca através do *software Google Earth Pro 2015*, baseando-se nas locações contidas nos boletins, a planilha de dados e atributos produzida denominada de *shapefile*.

### **6.3 Manipulação dos Dados em SIG e Montagem de Banco de Dados.**

Feita a compilação das informações necessárias no *shapefile*, o próximo passo consiste na sua inserção no SIG para edição. O ambiente SIG utilizado nesta etapa é o *ArcGIS 10.1* que possui uma aplicação denominada *ArcMap*, que possibilita, de acordo com Silva (2010), a organização dos dados segundo suas semelhanças temáticas correspondente aos dados descritivos do arquivo (dados alfanuméricos). Essa ferramenta armazena de forma vetorial e representa os dados por pontos, linhas e polígonos. Dentro disto, o *software* possibilita o trabalho com dados e informações geográficas, para gerar mapas, bem como, o trabalho com outras diversas questões relacionadas à análise espacial.

Outra aplicação de grande valia disponível no ambiente SIG é o *ArcView*, que possibilita inserir dados e funções aos mapas pré-existentes, o qual permite gerar novos mapas. Tais funções proporcionaram a elaboração de mapas com informações geotécnicas, que serão apresentados no Capítulo 8 desse trabalho.

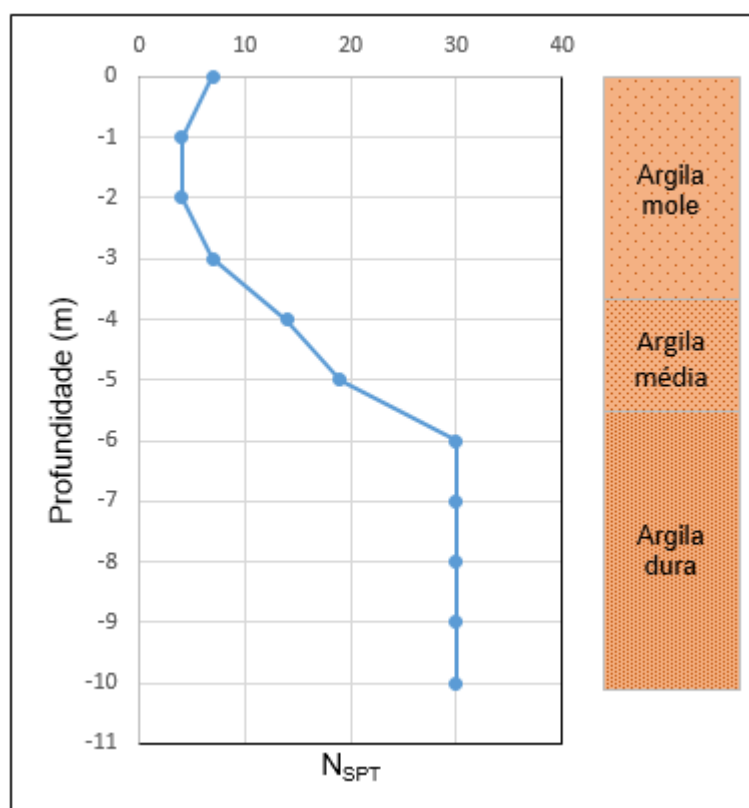
## 7 RESULTADOS

Os resultados apresentados neste Capítulo serão mostrados os perfis de sondagem típico para cada bairro estudado, assim como a descrição das camadas que foram obtidas a partir de correlações do  $N_{SPT}$  de cada metro perfurado pela sondagem, como sugerido pela norma 6484/2001.

### 7.1 Sondagens por Bairro

#### 7.1.1 Bairro Primavera

O bairro Primavera está situado nas proximidades do perímetro urbano do município de Arapiraca. Trata-se de uma área com índice de população elevado, número de residências. Esse bairro possui, ainda, uma diversificação de estabelecimentos comerciais e sedia um dos pontos mais característicos da principal fonte de renda do município, a feira livre. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 1.

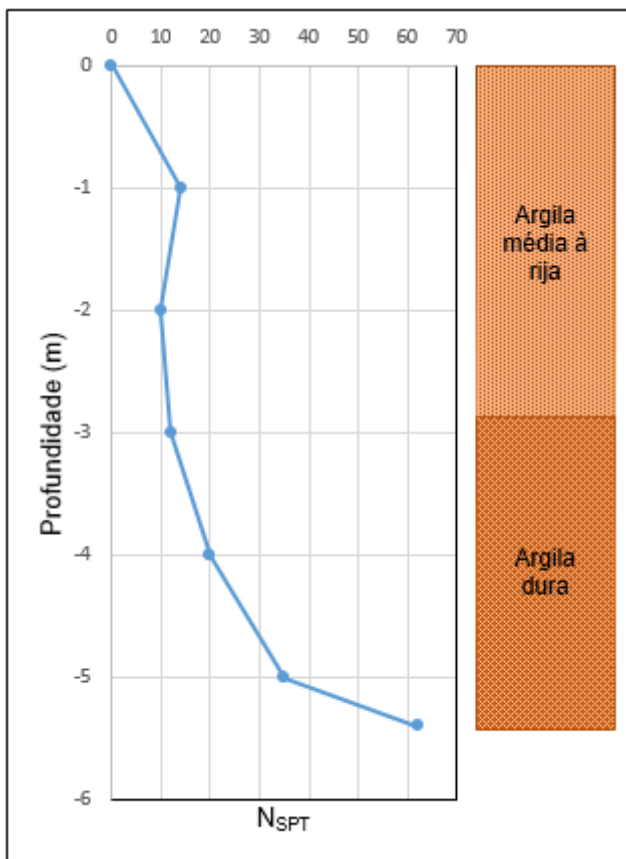


**Gráfico 1** – Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Primavera.

O perfil de sondagem mostrado no Gráfico 1 foi realizado nos dias 11 e 12 de junho de 2014. O perfil apresenta uma camada de argila mole até a cota de 3 metros de profundidade, após essa camada de argila mole, foram reveladas camadas mais resistentes com a presença de uma camada de argila média com espessura de 2 metros, e logo abaixo um material rijo pela presença de uma camada de argila. O impenetrável nesta camada apresentou-se a uma profundidade -10,0 metros, com índice de resistência à penetração maior que 30, tendo em vista que o processo de cravação foi interrompido por não haver mais penetração do amostrador após um número expressivo de golpes. Observa-se, também, que o nível de água foi ausente no dia da execução da investigação em campo.

#### 7.1.2 Bairro Verdes Campos

O bairro Verdes Campos está situado nas proximidades do distrito industrial do município de Arapiraca. Encontra-se em constante processo de urbanização com a implantação de condomínios populares e diversas obras de infraestrutura, o que têm acarretado em acentuado crescimento populacional, e conseqüentemente atraído empreendimentos comerciais. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 2.

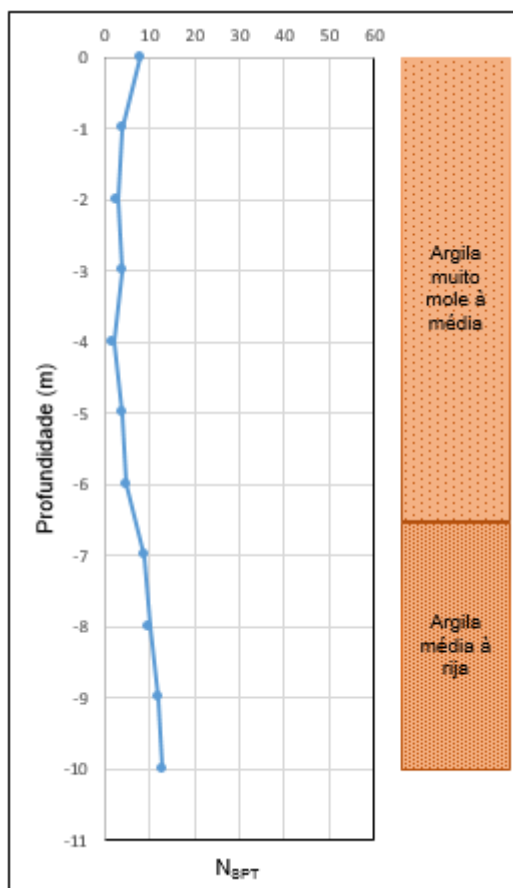


**Gráfico 2** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Verdes Campos.

O perfil de sondagem representado no Gráfico 2 foi realizado no dia 05 de maio de 2015. Diferentemente do bairro Primavera, o bairro Verdes Campos apresenta cota do impenetrável mais próxima da superfície, à uma profundidade de -5,40 metros. A partir de -4,0 metros de profundidade o índice de resistência à penetração revela um aumento progressivo, atingindo um  $N_{SPT}$ , de mais de 60 em uma camada de argila dura. O nível de água também não foi encontrado para a profundidade perfurada.

### 7.1.3 Bairro Povoado Vila Bananeira

O bairro Vila Bananeira, localizado na zona rural, mais precisamente no extremo sudeste do município de Arapiraca, é caracterizado como uma área essencialmente agrícola, com uma quantidade razoável de residências, porém não muito populoso. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 3.

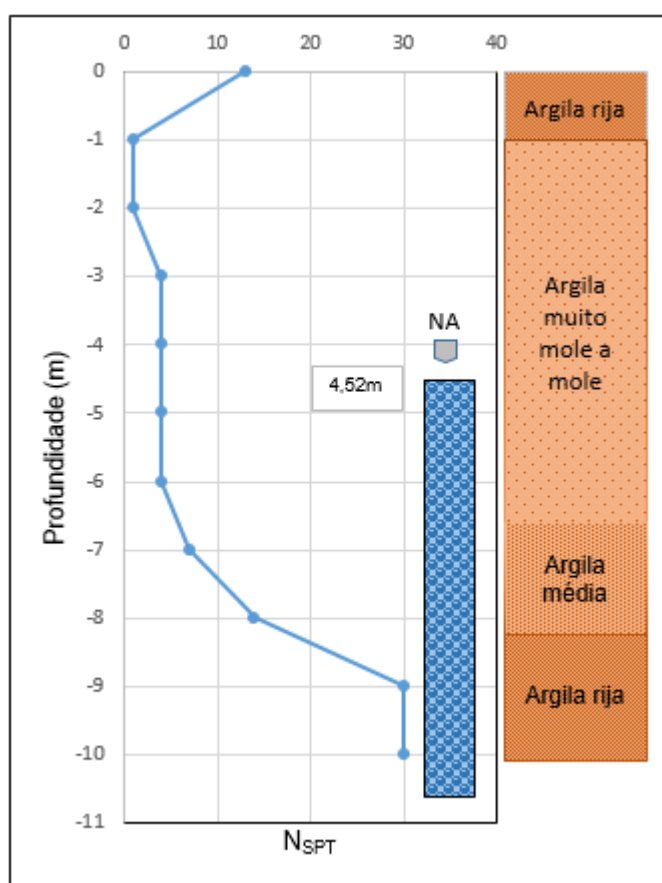


**Gráfico 3** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Vila Bananeira.

O perfil de sondagem representado no Gráfico 3 foi realizado no dia 26 de agosto de 2014. O perfil mostra inicialmente uma camada de argila muito mole a média até uma cota próxima dos -7,0 metros de profundidade. Com o avanço do ensaio nota-se um endurecimento do solo passando de argila média a rija até atingir o impenetrável foi encontrado à uma profundidade de -10 metros, porém, com  $N_{SPT}$  máximo de aproximadamente 15 golpes.

#### 7.1.4 Bairro Baixa Grande

O bairro Baixa Grande é situado próximo da região central do município de Arapiraca, sendo classificado como área urbana. Este bairro apresenta predominância de domicílios particulares, caracterizando-o como bairro residencial em sua essência e, conseqüentemente bastante populoso. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 4.



**Gráfico 4** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Baixa Grande.

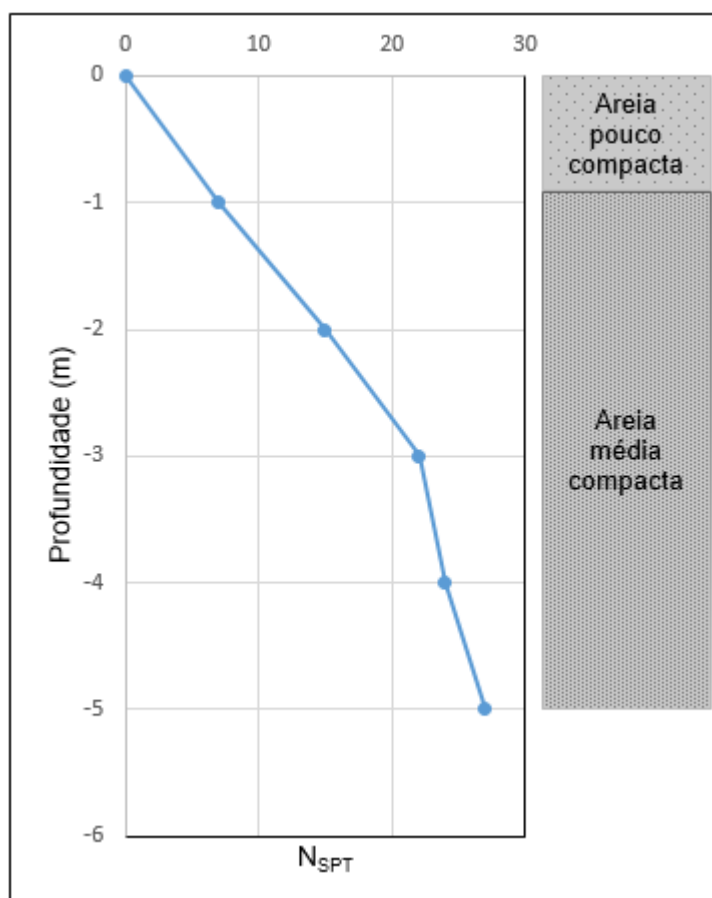
O perfil de sondagem representado no Gráfico 4 foi realizado no dia 10 de junho de 2014. O perfil apresenta uma camada de argila rija de pequena espessura, cerca de 1,0 metro, posteriormente uma camada de argila muito mole a mole até atingir profundidade próxima aos -7,0 metros. Diferentemente dos perfis analisados anteriormente, o nível do lençol freático foi detectado na cota aproximada de 4,52 metros. Após a cota de 7 metros de profundidade nota-se uma rápida mudança de consistência do material encontrado, passando para uma camada de argila média à rija até a atingir a cota do impenetrável de -10,0 metros.



Nota-se ainda o brusco aumento no valor de  $N_{SPT}$  após a cota de -7,0 metros de profundidade, passando de valores inferiores aos 10 golpes, para valores superiores a 30 golpes, que culminaram na interrupção do processo de cravação, nas cotas de -9,0 e -10, metros.

### 7.1.5 Bairro Centro

O bairro Centro está situado na região central do município de Arapiraca. E como o próprio nome sugere, trata-se de uma área completamente urbanizada e composta por estabelecimentos comerciais, não se tratando de uma área residencial. Porém, apresenta grande concentração de pessoas, principalmente em horário comercial. É o bairro que melhor representa o crescimento socioeconômico do município, e se encontra em acelerado processo de verticalização. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 5.

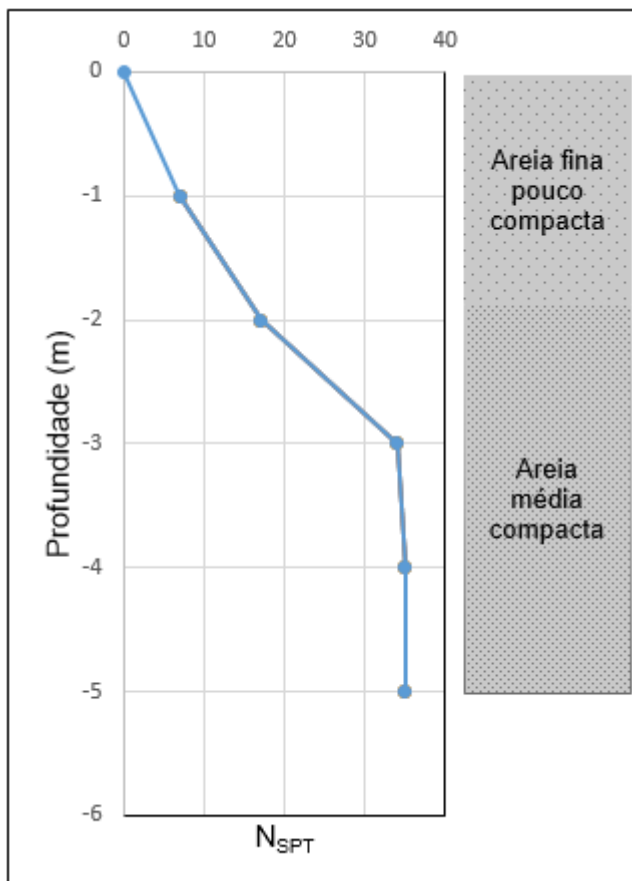


**Gráfico 5** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Centro.

O perfil de sondagem representado no Gráfico 5 foi realizado no dia 20 de março de 2013. O perfil apresentado mostra inicialmente uma camada de areia pouco compacta, até a profundidade aproximada de -1,0 metro, com o avanço da cravação do amostrador, nota-se que não há variação do tipo de solo, apresentando apenas, variações no seu grau de compactidade, passando por camadas mais compactas até atingir cota do impenetrável, relativamente rasa, de aproximadamente de -5,0 metros de profundidade. Quanto aos valores de  $N_{SPT}$ , nota-se um crescente aumento, quase linear ao atingir camadas mais profundas, chegando a um máximo próximo de 30 golpes. O nível de água também não foi encontrado para a profundidade perfurada.

#### 7.1.6 Bairro Santa Esmeralda

O bairro Santa Esmeralda está situado nas proximidades da região central do município de Arapiraca. Trata-se de uma área urbanizada e composta por estabelecimentos comerciais de destaque no município (*shopping*) e residenciais, destacando-se a implantação de condomínios verticais. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 6.



**Gráfico 6** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Santa Esmeralda.

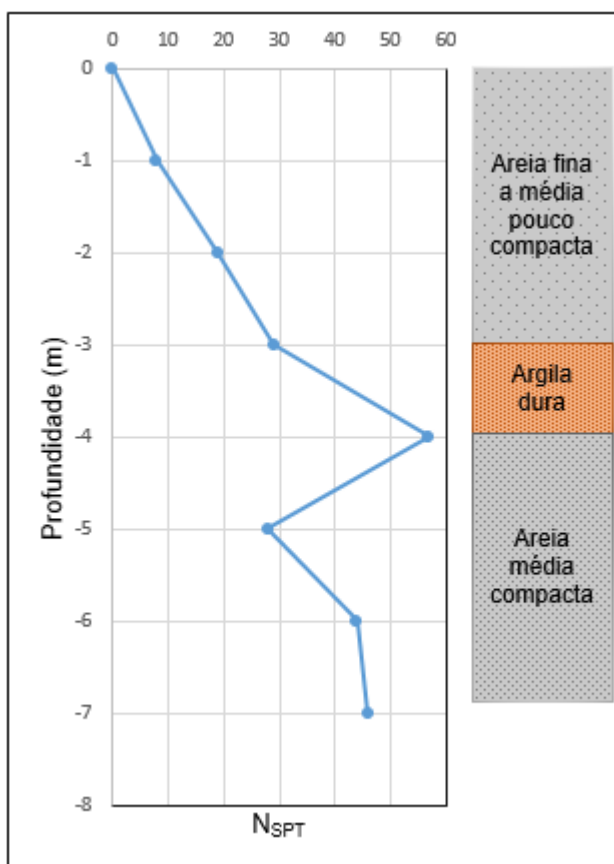
O perfil de sondagem representado no Gráfico 6 foi realizado no dia 20 de março de 2013. O perfil apresentado mostra uma camada pequena de areia fina pouco compacta na cota mais próxima à superfície, e posteriormente, revela-se uma camada consideravelmente espessa de areia média compacta com aproximadamente de 3,4 metros, avançado por uma camada de areia média pouco compacta até a cota máxima de 5 metros de profundidade, contudo o nível d'água não foi encontrado no processo.

Nota-se ainda que o perfil de sondagem obtido nessa localidade assemelha-se ao obtido para o bairro Centro, fato que pode ser acarretado pela proximidade observada entre os dois.

#### 7.1.7 Bairro de Canafístula

O bairro de Canafístula está situado relativamente distante da região central do município, entretanto, próximo dos limites da zona mais urbanizada. Este bairro é caracterizado basicamente como bairro residencial, com a implantação de diversos

condomínios populares. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 7.



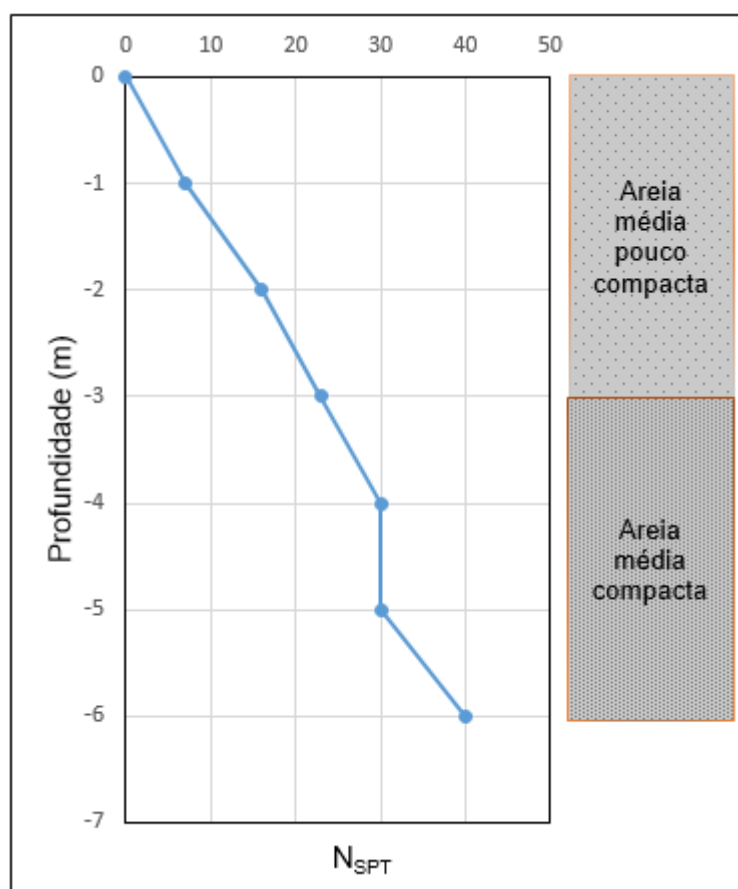
**Gráfico 7** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Canafístula.

O perfil de sondagem representado no Gráfico 7 foi realizado no dia 19 de março de 2013. O perfil apresentado mostra que o processo de sondagem avança inicialmente por uma camada de 3,0 metros de espessura de areia fina a média pouco compacta, encontrando uma fina camada de argila dura até uma profundidade próxima a cota de -4,0 metros, voltando a encontrar uma camada de areia média, dessa vez, compacta, até a profundidade de -7,0 metros, atingindo o impenetrável. O nível de água também não foi encontrado para a profundidade perfurada.

Neste bairro, nota-se valores de  $N_{SPT}$ , bastante elevados, superando e muito os valores máximos observados nos perfis mostrados anteriormente neste capítulo. Destaca-se, também, o surgimento de uma camada de argila intercalada por duas camadas de areia, fato não observado nas outras localidades estudadas. A destacada camada, apresenta um valor de  $N_{SPT}$ , próximo a 60 golpes a uma profundidade de -4 metros.

### 7.1.8 Bairro Senador Arnon de Melo

O bairro Senador Arnon de Melo é situado próximo a um dos pontos de saída/acesso ao município de Arapiraca, e não apresenta concentração considerável de estabelecimentos comerciais ou residenciais. Por este motivo, o bairro tem atraído grandes investimentos em condomínios residenciais de alto padrão econômico. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 8.



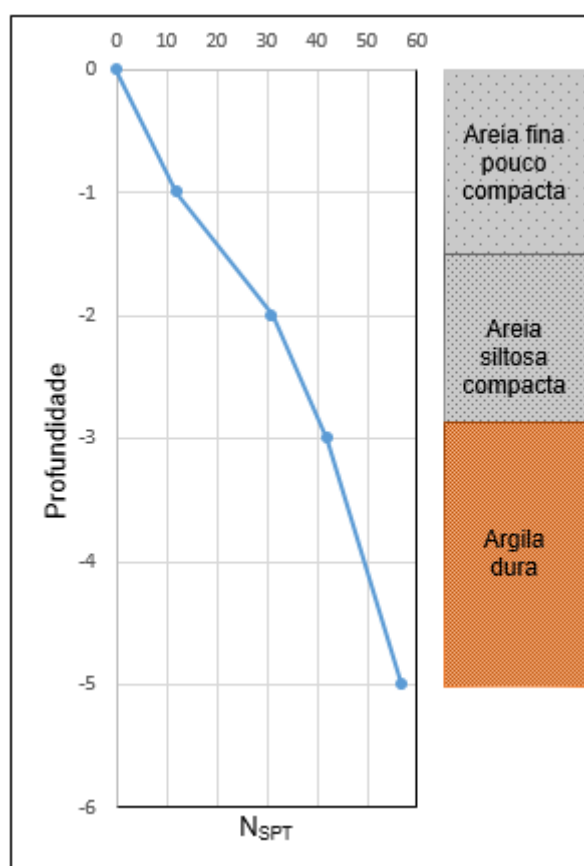
**Gráfico 8** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Senador Arnon de Melo.

O perfil de sondagem representado no Gráfico 8 foi realizado no dia 22 de março de 2013. O perfil de sondagem deste furo inicia-se com processo de sondagem atravessando uma camada de 3,0 metros de espessura de areia média pouco compacta, encontrando camada de areia média compacta, até a profundidade de - 6,0 metros, atingindo o impenetrável. O nível de água não foi encontrado para a profundidade perfurada.

Neste bairro, nota-se um comportamento linear do aumento valores de  $N_{SPT}$ , até a profundidade de -4,0 metros, em que se torna constante no metro perfurado seguinte, atingindo valores máximos de 40 golpes na cota de - 6,0 metros.

#### 7.1.9 Bairro Bom Sucesso

O bairro Bom Sucesso está situado a noroeste da região central, próximo ao limite do município de Arapiraca. O bairro não classificado como área urbana, porém, apresenta predominância de estabelecimentos comerciais. Contudo, tem revelado um aumento razoável no número de residências familiares. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 9.



**Gráfico 9** - Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Bom Sucesso.

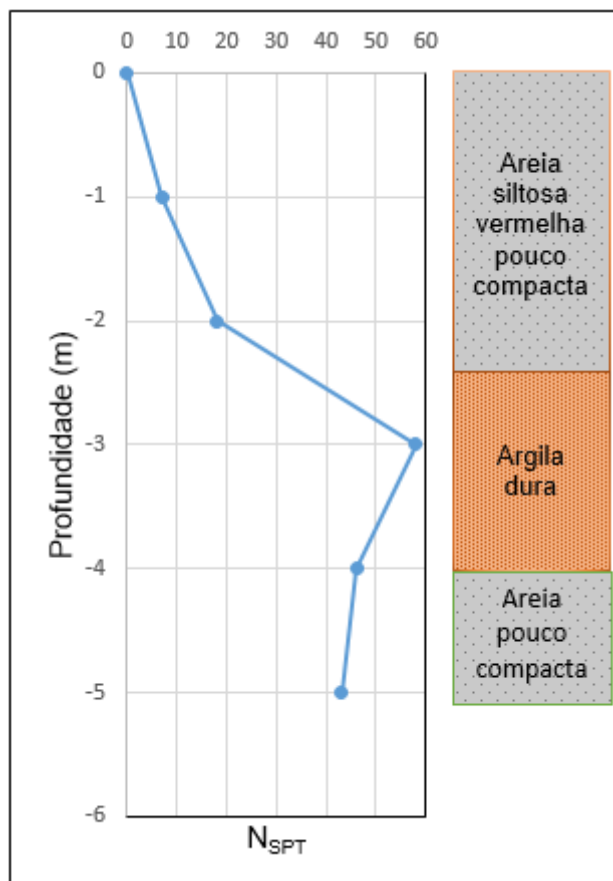
O perfil de sondagem representado no Gráfico 9 foi realizado no dia 20 de março de 2013. O perfil apresentado mostra que o processo de sondagem avança inicialmente por uma camada de aproximadamente 1,50 metros de espessura de areia fina a média pouco compacta, encontrando camada de areia siltosa compacta

até uma profundidade pouco passante da cota de -3,0 metros, até encontrar uma camada de argila dura, a mudança no tipo de solo no decorrer do processo de cravação não é comum levando em consideração os boletins apresentados neste Capítulo. Atinge o impenetrável aos 5 metros de profundidade. Novamente, o nível de água não foi encontrado para a profundidade perfurada.

Assim como nos dois últimos bairros analisados, é possível observar valores de  $N_{SPT}$  elevados, com uma tendência linear de aumento diretamente proporcional ao avanço em profundidade. Percebe-se que, já na cota de - 2,0 metros a marca de 30 golpes é atingida, chegando a um valor próximo a 60 golpes na profundidade - 5,0 metros.

#### 7.1.10 Bairro Povoado Pau D'arco

O bairro Povoado Pau D'arco está completamente situado em zona rural, próximo ao extremo sudeste do município de Arapiraca. É caracterizado como uma área essencialmente agrícola, com número pequeno de residências e conseqüentemente não muito populoso. O perfil de sondagem típico deste bairro é apresentado no Gráfico 10.



**Gráfico 10** – Valores de  $N_{SPT}$  em função da profundidade, com representação do tipo de solo encontrado no bairro Pau D'arco.

O perfil de sondagem representado no Gráfico 10 foi realizado no dia 03 de março de 2013. O perfil do bairro Pau D'arco assemelha-se ao do bairro de Canafístula pelo fato de apresentar, também, uma camada composta de material argiloso intercalada por duas camadas de material arenoso, sendo neste caso, um pouco mais espessa, com cerca de 1,5 metros. Nota-se, ainda, que o solo argiloso atinge a cota de profundidade máxima de - 4,0 metros, exatamente igual a apresentada no bairro de Canafístula.

Como mostrado no Gráfico 10, o processo de sondagem inicia-se passando por uma camada de aproximadamente 2,5 metros de espessura de areia siltosa vermelha pouco compacta, encontrando camada de argila rija até uma profundidade próxima a cota de -4 ,0 metros, voltando a encontrar uma camada de areia compacta até a profundidade de -5,0 metros, atingindo o impenetrável. Outra vez, o nível de água não foi encontrado para a profundidade perfurada.

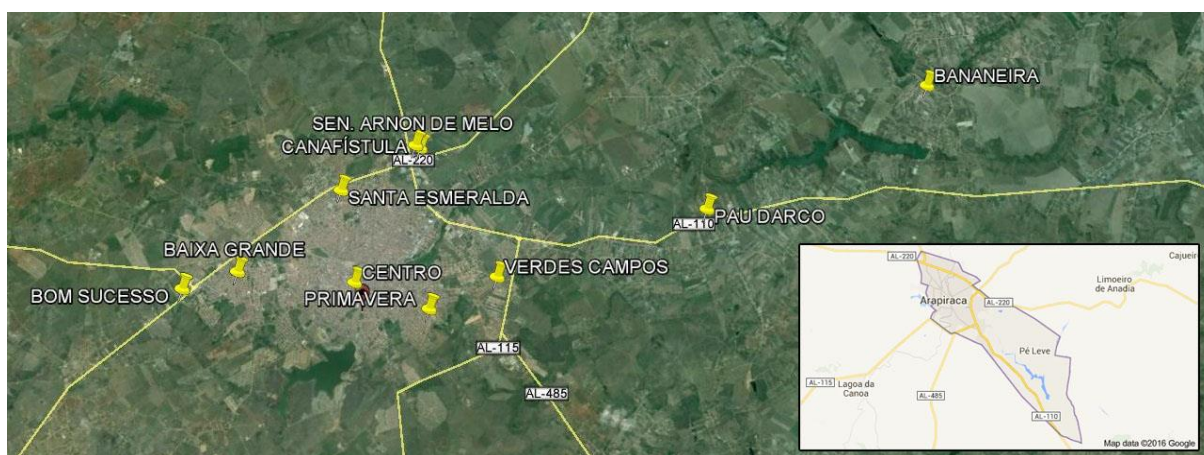


No que se refere aos valores de  $N_{SPT}$ , observa-se com aumento brusco com o surgimento do solo argiloso, atingindo um pico de aproximadamente 60 golpes na zona intermediária desta camada.

## 8 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 8.1 Mapa de Localização dos Pontos de Sondagem SPT

A Figura 9 mostra a localização aproximada dos furos de sondagem cujas informações serviram como base de dados para obtenção dos resultados deste trabalho, assim como explicitado no capítulo 6 do mesmo. Observa-se que cada furo é nomeado conforme o bairro no qual localiza-se. Acompanha ainda, o mapa de limites do município, que pode ser associado ao mapa de locação dos pontos, para tal, se faz necessária a observação das principais vias que cortam a cidade, como: AL-110, AL-220 e AL-115. Tendo em vista que estas estão presentes nas duas imagens atuando como vias de referência.



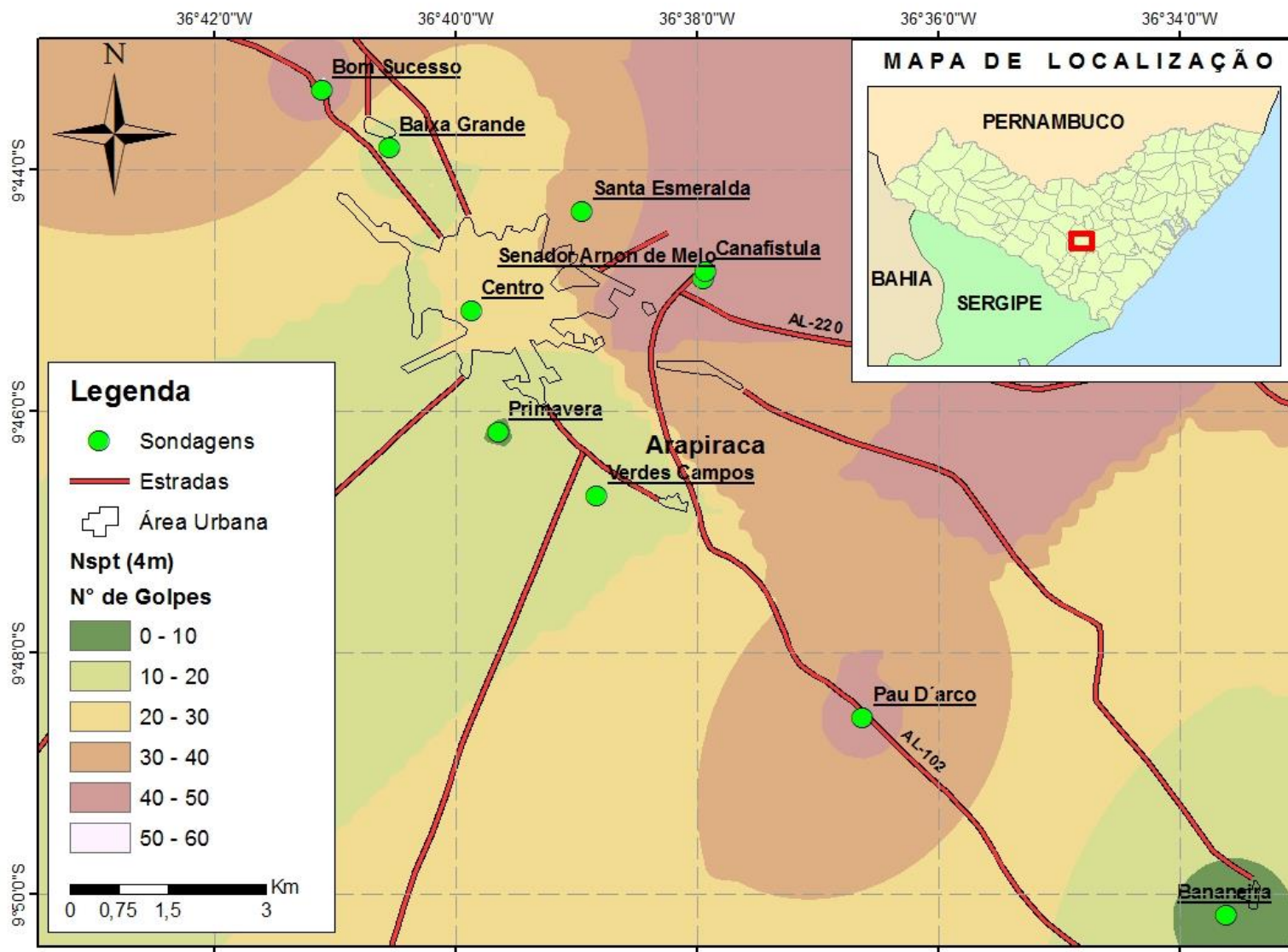
*Figura 9 - Localização dos furos de sondagem, sem escala.*

*Fonte: Do autor.*

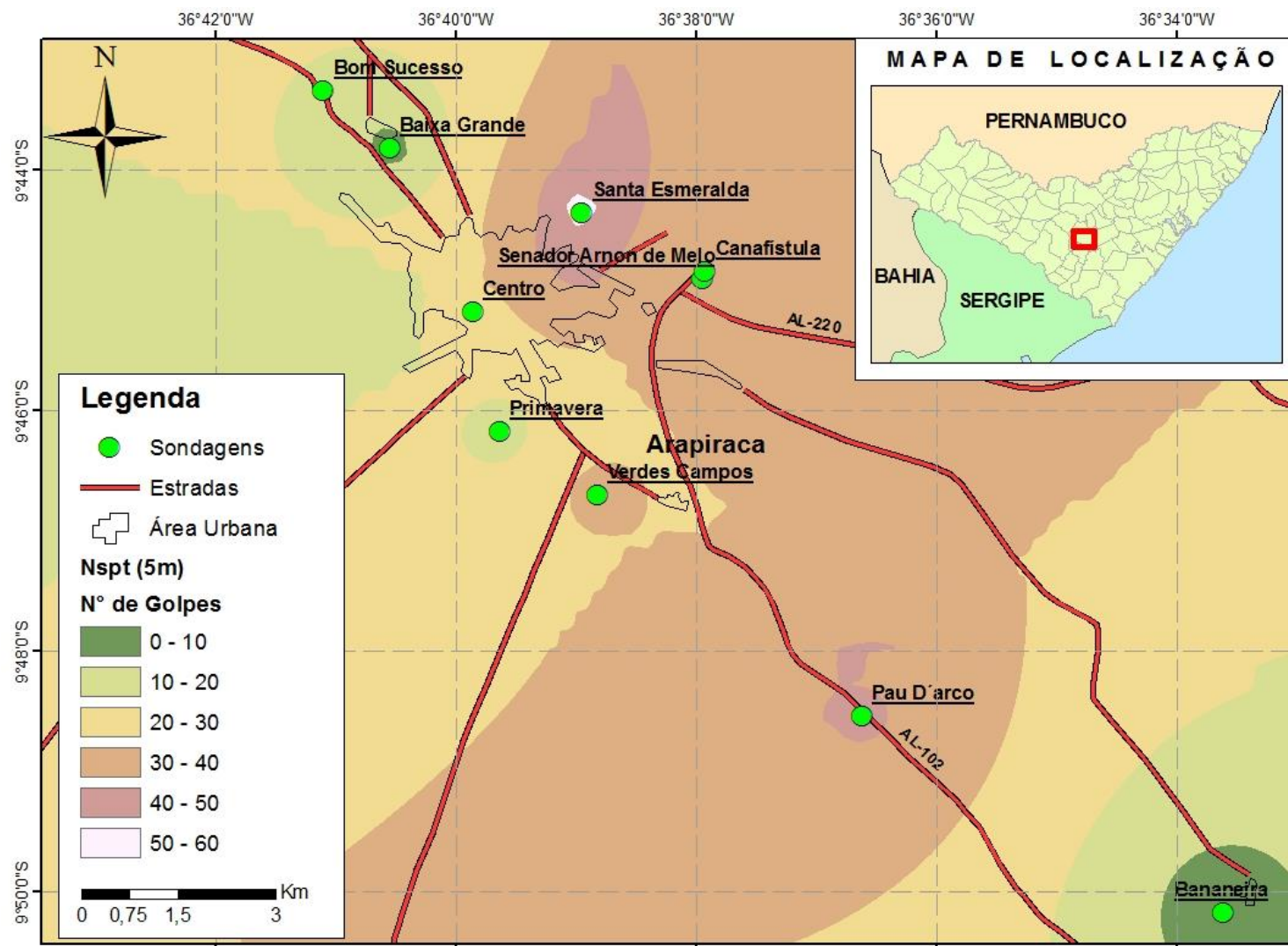
### 8.2 Mapas de $N_{SPT}$ em Diferentes Profundidades

De acordo com as unidades geotécnicas apresentadas nos perfis de sondagem do item 7 deste trabalho, foram elaborados perfis médios para a variável  $N_{SPT}$ , bem como, a classificação geotécnica do solo para cada zona de estudo. Quando detectado, identificou-se, ainda, a cota do nível d'água. Os pontos em destaque na cor verde representam as localidades onde foram realizadas as sondagens, e vêm acompanhados do bairro no qual estão situados, nota-se que que esses coincidem os pontos em amarelo da Figura 9. Os polígonos irregulares delimitados pela cor preta que são observados nos Mapas 1, 2 e 3, representam as

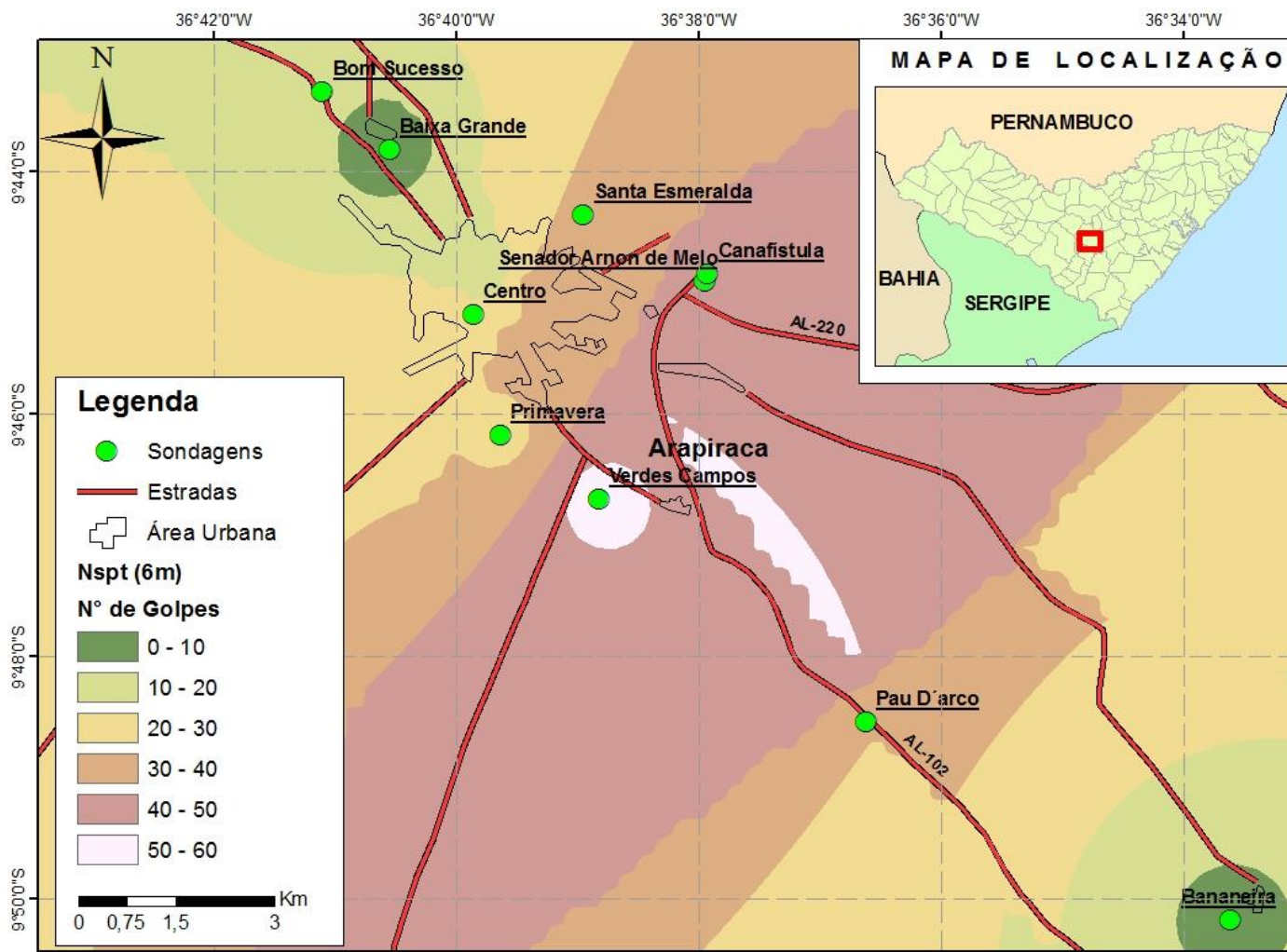
áreas com maior grau de urbanização da cidade, tal delimitação é feita diretamente pelo *software ArcGIS 10.1* que se baseia em padrões de análise espacial. As principais estradas de acesso ao município estão representadas na cor vermelha.



**Mapa 1** - Valores de  $N_{spt}$  estimados de acordo com a tonalidade das cores em todo o território do município de Arapiraca - AL na profundidade de 4,0 metros



**Mapa 2** – Valores de  $N_{spt}$  estimados de acordo com a tonalidade das cores em todo o território do município de Arapiraca - AL na profundidade de 5,0 metros.



**Mapa 3** - Valores de  $N_{spt}$  estimados de acordo com a tonalidade das cores em todo o território do município de Arapiraca - AL na profundidade de 6,0 metros.

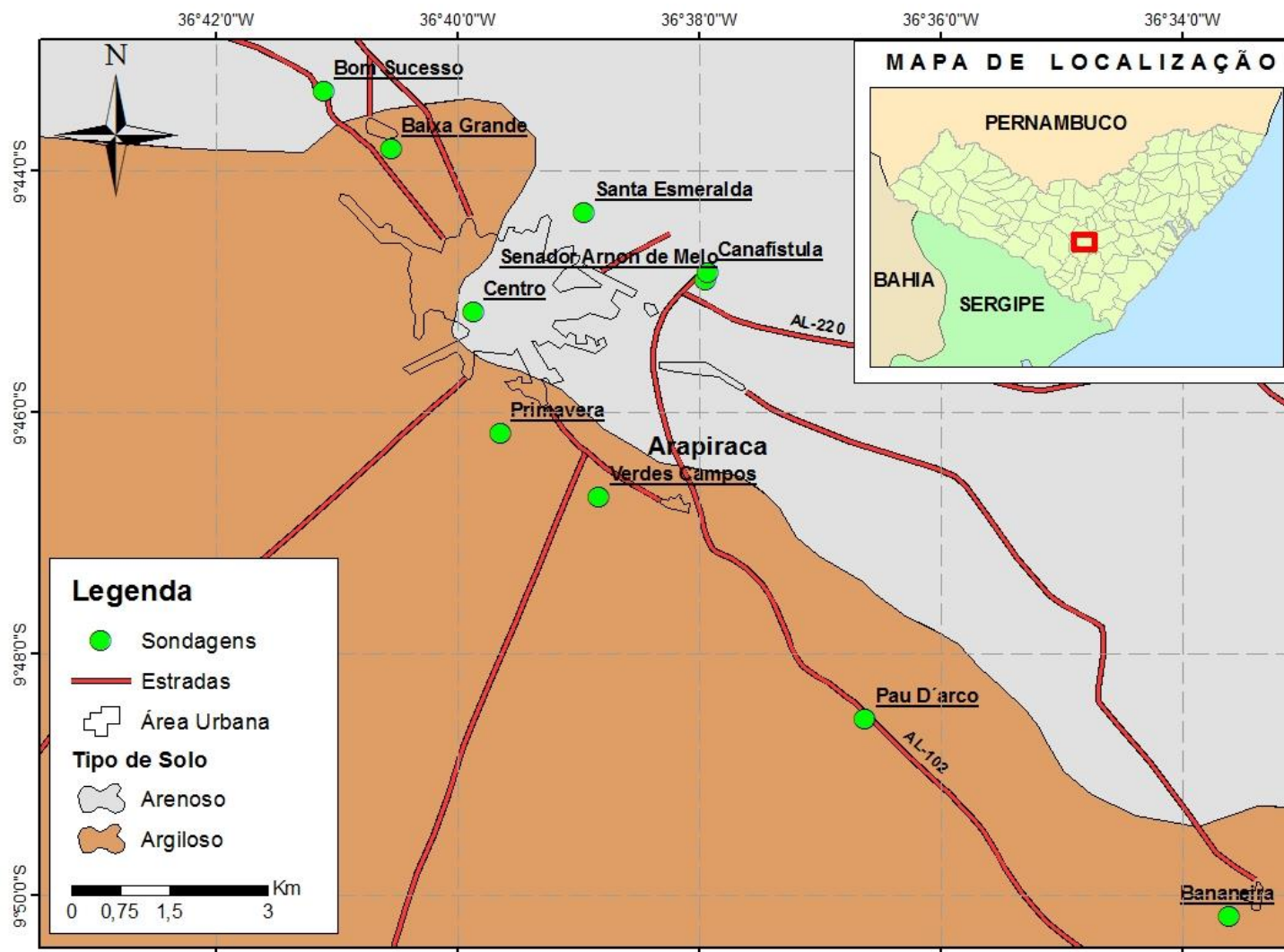
Observando-se a variação das cores apresentadas nos mapas, é possível estimar um provável valor do  $N_{SPT}$  para qualquer localidade desejada dentro dos limites territoriais município, para as profundidades de -4,0, -5,0 e -6,0 metros, respectivamente, Mapas 1, 2 e 3. A escolha das cotas de -4,0, -5,0 e -6,0 metros justifica-se pela maior disponibilidade de informações precisas utilizadas na produção dos mapas, tendo em vista, que em 60% dos pontos onde foram realizadas as sondagens, a profundidade máxima de cravação do amostrador padrão, não superou os 6,0 metros. Dessa forma, as informações oriundas dos pontos onde as sondagens avançaram a profundidades superiores a 6,0 metros, também são contempladas no processo de elaboração dos mapas, nesse cenário, as cartas geotécnicas foram produzidas com os dados de todos boletins de sondagem apresentados no Capítulo 7 desse trabalho.

É importante ressaltar que os mapas presentes nesse capítulo, devem ser manipulados de forma complementar entre si, para um melhor resultado de valores estimados de  $N_{SPT}$  ao longo do território compreendido pelo município.

Ademais, salienta-se que os mapas apresentados servem como base para uma estimativa preliminar do valor de  $N_{SPT}$  de qualquer localidade compreendida pelos limites territoriais do município. Nesse ínterim a sua utilização não dispensa a realização do processo de sondagem.

### **8.3 Mapas de Zoneamento Geotécnico**

A partir dos dados compilados nos mapas de  $N_{SPT}$  para diferentes profundidades, mostrados nos itens anteriores desse Capítulo, e das informações quanto aos tipos de solos encontrados nos pontos de sondagem, que podem ser observados no Capítulo 7 desse trabalho, foi possível elaborar um mapa (Mapa 4) de zoneamento geotécnico com o tipo predominante de solo na região, observado a seguir.



**Mapa 4** – Mapa de zoneamento geotécnico de Arapiraca baseado nos tipos de solo encontrados nos pontos de sondagem.



Quanto aos tipos de solo encontrados, foi possível realizar uma classificação típica dos solos apresentadas nos perfis dos boletins de sondagem SPT. Observa-se, claramente, a subdivisão territorial quase igualitária entre solos de características predominantemente argilosas e solos com características arenosas.

De acordo com o mapa de zoneamento geotécnico acima, nota-se que a parcela de solo a Norte e Nordeste do centro do município na cor cinza representa solos arenosos, e, por conseguinte a parcela de solo a Sul e Sudoeste do centro do município na cor laranja representa solos argilosos.

## **9 CONCLUSÕES**

A elaboração de um mapa geotécnico municipal, através de uma base de dados de sondagem SPT, permite a obtenção de informações como o tipo de solo e o valor exato ou aproximado de  $N_{SPT}$  na área contemplada pelo mesmo, desta forma o terreno é melhor representado em sua superfície e também em profundidade.

Tendo em vista que em toda obra, independente do seu porte e/ou finalidade, é necessário a realização do ensaio de sondagem a percussão simples (SPT) para a definição do tipo de solução de fundação a ser utilizado, influenciando diretamente nos padrões de segurança, qualidade e economia da mesma. Desta maneira, de posse dos mapas apresentados neste trabalho é possível estimar os tipos mais apropriados de fundação a ser empregados em uma obra, contudo, sua utilização não dispensa a realização do processo de sondagem no local, pois o solo varia de ponto à ponto, bem como o nível do lençol freático, sendo este último um fator extremamente relevante e determinante para a construção de edificações.

Essas informações disponíveis nos boletins de sondagem permitirão determinar parâmetros geomecânicos do solo da área de estudo, por meio de correlações empíricas disponíveis na literatura, tais como: o módulo de deformabilidade em argilas, resistência não-drenada em argilas, recalques de fundações diretas ou tensão admissível do solo para tubulões e entre outras. Além disso, servirão de subsídio para futuras construções no município de Arapiraca.

### **9.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros**

Sugere-se a elaboração de trabalhos complementares a este, visto que se trata de um município com vasto território e em processo contínuo de expansão, e com uso e ocupação do seu solo cada vez mais verticalizado. Desta forma, a continuidade deste trabalho através da coleta de resultados de outros furos de sondagem em localidades distintas das aqui estudadas, trará resultados com maior grau de confiabilidade e, por conseguinte, mais próximos dos valores reais, principalmente, nas áreas mais distantes das contempladas neste trabalho. Tendo

em vista que um maior espaço amostral para um mesmo objeto de estudo acarreta em uma menor margem de erro para resultados estimados.

A elaboração de trabalhos que produzam cartas geotécnicas baseadas em parâmetros específicos do solo, bem como, de estudos que analisem de forma direta características relacionadas a estratigrafia do subsolo da cidade e, principalmente, o seu lençol freático, parâmetro detectado apenas em uma localidade neste trabalho. Os resultados oriundos desse tipo de análise podem servir como ferramentas e/ou compor uma base de dados importante para melhorar a gestão do processo de urbanização da área em estudo. Desta forma, é possível promover a elaboração de um plano diretor melhor elaborado, além de sugerir quais os tipos de fundações que devem ser empregadas a determinadas profundidades.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em:< [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01\\_97\\_10112005101957.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_97_10112005101957.html)>. Acesso em: 21 de nov. 2015.

ANDRADE, A. R. de. **CARACTERIZAÇÃO DOS ELEMENTOS DE FUNDAÇÕES APLICÁVEIS EM EDIFICAÇÕES NA REGIÃO DE FLORIANÓPOLIS**. [s.d.]. 143 f. [s.i.]

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: solo – sondagem de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

BASTOS, P. S. dos S. **NOTAS DE AULA**. Estruturas de Concreto III. 2012. 118 p. Universidade Estadual Paulista, Bauru (SP), 2012.

BRITO, D. R. **NOTAS DE AULA**. Mecânica dos Solos: Fundações. 2010. 32 p. [s.i.]

CÂMARA, K. R. Da R.; PEREIRA, A. Da C. **ANÁLISE DE PERFIS DE SONDADEM SPT E CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE NATAL**. 2005. 16 p. Artigo (Geotecnia) – Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

COSTA, F. M. da; MOREIRA, R. M. **ANÁLISE TÉCNICA DO SUBSOLO DE SANTARÉM/PA**. 2013. 74 f. Dissertação (Conclusão do curso de Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia. Belém, 2013.

FONTELES, H. R. Da N. **CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO SUBOLO DA PORÇÃO NORDESTES DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA (CE) COM BASE EM GEOESTATÍSTICA**. 2003. 146 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

HACHICH, W. et al. **FUNDAÇÕES: TEORIA E PRÁTICA**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). Disponível em:< <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=270030>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

JOPPERT JR. I. **FUNDAÇÕES E CONTENÇÕES DE EDIFÍCIOS: QUALIDADE TOTAL NA GESTÃO DO PROJETO E EXECUÇÃO**. 1. ed. São Paulo: PINI, 2007.

MAFRA JR., C. da S. **ELABORAÇÃO PRELIMINAR DE UNIDADES GEOTÉCNICAS DO MUNICÍPIO DE BRUSQUE ASSOCIADO A UM BANCO DE DADOS GEOTÉCNICO EM AMBIENTE SIG**. 2007. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2007.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA: Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA**. Estado de Alagoas: Diagnóstico do Município de Arapiraca. MASCARENHAS, J. de C.; BELTRÃO, B. A.; SOUZA JR., L. C. de. (Orgs.). Recife, 2005.

ODEBRECHT, E. **MEDIDAS DE ENERGIA NO ENSAIO SPT**. 2003. 232 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2003.

Prefeitura Municipal de Arapiraca (2015). Disponível em:<<http://web.arapiraca.al.gov.br/a-cidade/dados-gerais/>> Acesso em: 20 nov. 2015.

PUC – RIO. **INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS**. Capítulo 4. Rio de Janeiro, [s.d.].

SCHNAID, F. **ENSAIOS DE CAMPO E SUAS APLICAÇÕES À ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES**. 1. Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2000.

SCHNAID, F., ODEBRECHT, E. **ENSAIOS DE CAMPO E SUAS APLICAÇÕES À ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012.

SILVA, D. F. Da. **MAPEAMENTO GEOESTATÍSTICO DOS PARÂMETROS  $N_{SPT}$  E TORQUE MÁXIMO DE SOLOS EM PARTE DA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBEZINHO EM LONDRINA/PR**. 2008. 212 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

SILVA, V. C. B. **INICIANDO NO ARCGIS**. 2010. 62 p. Apostila – Departamento de Ciências Biológicas, Ambientais e da Saúde, Belo Horizonte, 2010. SOLOS do Estado de São Paulo. Latossolos. São Paulo [s.d], [s.i.]

SOARES, W. C. **BANCO DE DADOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS COM BASE EM SONDAGENS À PERCUSSÃO SIMPLES E USO DE SIG**: análise espacial da profundidade do lençol freático e do  $N_{SPT}$  para obras de fundação em João Pessoa – PB. 2011. 215 p. Dissertação (Doutorado em Ciências, Programa de Pós Graduação em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2011.

SOUSA, C. A. **CONTRIBUIÇÃO AO MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DA CIDADE DE BELÉM-PARÁ: confirmação de zonas de ocorrência de camadas competentes de solos**. 2010. 71 p. Dissertação (Conclusão do curso de Engenharia Civil) – Universidade da Amazônia, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Belém – PA, 2010.

SOUZA, L. A. de; SOBREIRA, F. G. **GUIA PARA ELABORAÇÃO DE CARTAS GEOTÉCNICAS DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO FRENTE AOS DESASTRES NATURAIS**. 2014. 68 p.

SOUZA, R. F. C. de; **NOTAS DE AULA**. Fundações I. 2015. Universidade Federal de Alagoas. 2015.

TOLEDO, F. R. F. D. **ESTUDO GEOTECNOLÓGICO**. 2012. 37 f. Gerenciamento de Projeto. 2012, [s.i.]

XAVIER, S. C. **O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO POR MEIO DE GEOPROCESSAMENTO COMO INSTRUMENTO DE AUXÍLIO AO PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM CIDADES COSTEIRAS: estudo de caso para Pelotas (RS)**. 2010. 261 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010.

ZAINE, J. E. **MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO POR MEIO DO MÉTODO DO DETALHAMENTO PROGRESSIVO**: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). 2000. 189 p. Dissertação (Doutorado em Geociências – Área de concentração em Geociências e Meio

Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências exatas, Rio Claro, 2000.