

Escolha do método de melhoramento do solo com base na análise de relatório de sondagem: um estudo de caso no município de Garanhuns-PE

Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida¹  orcid.org/0000-0002-6905-0001

Alison de Souza Norberto²  orcid.org/0000-0002-4303-4847

Thamires Sandrelle da Costa Rodrigues³  orcid.org/0000-0001-8838-9986

Luciano Fraga Almeida⁴  orcid.org/0000-0001-5009-2650

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia de Civil (PPGEC), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil,

² Programa de Pós-graduação em Engenharia de Civil (PPGEC), Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, Brasil,

³ Pós-graduação em Estruturas (PPGEC), Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Brasil

⁴ Curso de graduação em Engenharia Civil, Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns, Pernambuco, Brasil,

E-mail do autor principal: Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida aliceguilherme@hotmail.com

Resumo

A capacidade do solo em suportar esforços de cargas pode ser mensurada a partir de ensaios de campo, juntamente com ensaios de laboratório. Quando se encontra um solo com uma resistência abaixo do esperado para suportar as cargas advindas das construções, são as investigações geotécnicas as principais fontes de informações para auxílio na tomada de decisão para a determinação de medidas corretivas, de forma a tornar o empreendimento viável. Objetivou-se com esta pesquisa relacionar os principais métodos de melhoramento de solo, exemplificando sobre os diversos tipos de ações necessárias para tais procedimentos. Nesta pesquisa, foi realizado um estudo dos principais métodos utilizados para o melhoramento do solo, bem como qual método seria melhor aplicado ao caso de estudo, o qual foi realizado para um solo da cidade de Garanhuns-PE. A pesquisa foi realizada através de uma revisão bibliográfica acerca do tema e um estudo de caso documental, por meio do qual se analisou os relatórios de sondagem cedidos pela empresa ASPT. Dos resultados foram verificados que os diversos métodos poderiam ser aplicados para o melhoramento do solo da região estudada, mas o que mais se adequou para aplicação na área de estudo foi o método de Jet Grouting.

Palavras-Chave: Ensaios, Melhoramento do solo, Resistência, Sondagem.

Abstract

The capacity of the soil to support load efforts can be measured from field tests, together with laboratory tests. When it's found a soil with a resistance below the expected one to support the loads coming from the constructions, geotechnical investigations are the main sources for the determination of corrective measures, in order to make the enterprise viable. The objective of this

work was to discuss the main methods of soil improvement, exemplifying different types of actions necessary for such procedures. This research carried out about a study of the main methods used for soil improvement, as well as which method would be best applied to the case study, which one was carried out for a soil in the city of Garanhuns-PE. The research was carried out through a bibliographic review on the theme and a documentary case study, wherewith the survey reports provided by the company ASPT were analyzed. From the results it was verified that the different methods could be applied for the improvement of the soil of the studied region, but the one that was more suitable for application in the study area was the Jet Grouting method.

Key-words: *Testing, Resistance, Soil improvement, Drilling.*

1 Introdução

O solo é um elemento indispensável para qualquer obra de engenharia e merece atenção quanto a sua composição e resistência. Dado a isso, faz-se necessária a investigação geotécnica para garantir a boa adequação entre o projeto que será implementado e o solo que receberá as tensões.

A ausência de uma investigação geotécnica acarreta problemas que podem desencadear risco à segurança de edificações, uma vez que não conhecer as características do terreno desencadeia problemas na escolha do tipo de fundação ou uso do solo. Desta forma o ensaio de Standard Penetration Test (SPT) se torna indispensável e determinante para o dimensionamento correto das estruturas e consequentemente a redução de custos [11].

Vale frisar que os ensaios de sondagem devem ser realizados conforme o indicativo técnico da NBR 6484. Na referida Norma é possível verificar todas as recomendações necessárias para a realização da investigação. Além de todos os critérios de execução do ensaio e também de paralisação, uma vez que a Norma traz itens que devem ser atendidos em casos principalmente de dificuldade de penetração do amostrador no solo. E isto é possível graças às relações de golpes penetrados e penetração do amostrador-padrão [19].

Quando os solos naturais não possuem os requisitos necessários para cumprir adequadamente a função a que estão destinados, em fundações, escavações ou como material de construção, uma das soluções possíveis é a alteração das suas características de maneira a melhorar o seu comportamento, tornando-os capazes de responder de forma satisfatória as solicitações previstas [1].

Por vezes, a resistência do solo não é suficiente para suportar as cargas advindas do tráfego de veículos, pessoas, equipamentos, construções de casas e edifícios ou até mesmo de barragens. Vários aspectos como a composição do solo, afinidade com a água e tamanho das moléculas, são características que contribuem para problemas como o recalque, o rompimento de barragens, escorregamento de barreiras e rompimento de taludes. Esses aspectos podem vir a inviabilizar um empreendimento se não contornados. O ambiente desfavorável por vezes ofertado para construção do ponto de vista geotécnico, propiciou o desenvolvimento e a descoberta de várias técnicas de melhoramento para execução de fundações em diversos tipos de solos [2].

Além da existência dos depósitos de solos moles ou fofos que, efetivamente, tornam obrigatório seu melhoramento há, também, outras condições geotécnicas problemáticas como o alto nível freático do solo, leitos rochosos inclinados ou taludes submersos e taludes naturais. A atividade humana, cada vez mais, necessita de condições geotécnicas de solos particulares, o que torna ainda mais desafiador a elaboração de projetos na área de melhoramento de solos [3].

O tipo de escolha de solução a ser adotada em caso de solos em condições inapropriadas para o uso deve ser feita primeiramente em bases econômicas e práticas, pois é um aspecto determinante na qualidade e custo final da obra. Além disso, fatores como volume de corte e aterro, tipo de solo disponível no local, e distância de transporte das jazidas, locais de empréstimos e bota-foras, também devem ser considerados e ponderados, uma vez que influenciam diretamente nos custos da obra [4]. Outros fatores também importantes a serem considerados, como: as

condições estruturais que serão aplicadas, os fatores construtivos para determinado local e a eficiência do método escolhido [3].

Estabilizar um solo pode demandar uma mudança de propriedade para melhorar suas propriedades mecânicas, tendo como resultado um material solidificado capaz de resistir esforços aplicados [5]. O processo de estabilização de solos é uma prática milenar, desenvolvida a princípio de forma rudimentar. Foi aprimorada com o tempo. É considerada uma das principais preocupações dos pesquisadores da área de geotecnia e engenharia civil, que buscam soluções mais eficientes e econômicas. Este processo é realizado com o objetivo de estabilizar e suplementar as propriedades de resistência do solo, maximizando e adequando o solo para determinado uso. A literatura técnica aponta que a estabilização do solo pode ser realizada por métodos mecânicos ou químicos [6].

Neste contexto, questiona-se se existe um melhor processo para melhoramento do solo, que consiga aprimorar o solo de forma a viabilizar construções, fazendo com que solo possa lidar com as cargas nele depositadas sem que entre em colapso ou que prejudique o bom funcionamento da edificação. Como alternativa, está o melhoramento do solo, por meio de ações corretivas e uso de aditivos químicos em seu processo, tem aperfeiçoado a resistência do solo. Os critérios a serem utilizados quanto ao melhor método, deve levar em consideração o local da obra, se existem obras no entorno e se há restrições contra explosões e vibrações bem como se há viabilidade técnica e econômica para o método em questão. Este trabalho teve por objetivo relacionar os principais métodos de melhoramento de solo, exemplificando sobre os diversos tipos de ações necessárias para tais procedimentos. Para isto foi analisado o solo da cidade de Garanhuns, localizada no agreste Pernambucano.

2 Área de estudo

O estudo foi realizado na cidade de Garanhuns-PE, com localização geográfica (x: 775.480,00 m; y: 9.016.260,00 m; z: 24; SIRGAS2000) (Figura 1). Para caracterizar o solo predominante na região, foi utilizado o Mapa Exploratório-Reconhecimento de solos do município de Garanhuns - PE, segundo dados da Embrapa o solo da região de pesquisa é o Latossolos Amarelos [7].

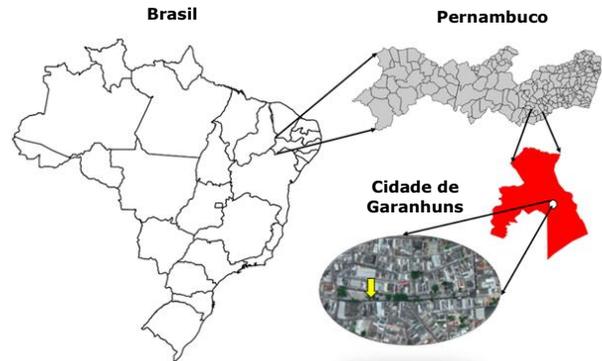


Figura 1: Localização da área de estudo.

No local do estudo foi realizado o ensaio SPT em três perfurações, nos quais foram extraídas as informações sobre o solo a ser investigado.

3 Metodologia

O processo metodológico foi realizado a partir de uma revisão bibliográfica exploratória onde foram escolhidos os métodos mais importantes para melhoramento de solos. Além disso, também foram analisados os padrões estabelecidos pela norma [8], tendo em vista conhecer as práticas estabelecidas pela construção civil. Em uma segunda etapa, foram realizadas análises de registros a partir de relatórios de sondagem cedidos pela empresa ASPT Engenharia e Sondagem. Durante o processo de investigação identificou-se a baixa resistência do solo e propôs-se uma intervenção no local através do melhoramento do solo.

A investigação geológica realizada no local foi o SPT, essas sondagens são as mais utilizadas em análises de prospecção geotécnica de solos no Brasil. As investigações geotécnicas além de permitirem a assimilação de características estruturais, físicas e geométricas, podem também influenciar na escolha das soluções para os solos com baixas capacidades de suporte [9]. Além de fornecer parâmetros de resistência, deformidade e fluxo. Na construção civil ter o conhecimento desses parâmetros é de fundamental importância

Escolha de alternativa para o melhoramento de solos utilizando resultados de sondagem SPT: um estudo de caso do Agreste Pernambucano

para o correto dimensionamento das fundações, aterros, barragens, estradas, entre outros. Esse tipo de sondagem permite tanto a retirada de amostras deformadas, como também a determinação do nível de água (NA). Além disso, é considerado um ensaio de baixo custo, simples de executar, permitindo, ainda, a obtenção de informações do estado de consistência e compacidade do solo [10].

O procedimento de sondagem foi iniciado após a limpeza da área que permitisse o desenvolvimento de todas as operações sem obstáculos e a abertura de um sulco ao seu redor para desviar as águas de enxurradas.

Junto ao local de execução do furo, foram cravados um piquete e uma estaca com a identificação da sondagem. O piquete serviu de ponto de referência para medidas de profundidades e para amarração topográfica.

As sondagens foram iniciadas utilizando-se o trado concha até onde foi possível, passando-se a utilizar o trado helicoidal quando se tornou impossível o avanço com o trado concha. Os furos foram executados com diâmetro HW.

Sempre que foi possível, evitou-se o uso de água para não haver interferência da saturação no resultado do SPT. Só foi utilizada a água quando não foi possível o avanço sem fluido de perfuração, porém foi realizado com controle de volume e por gravidade.

As sondagens foram realizadas em três pontos (SP-001, SP-002 e SP-003) no período de 19/07/2017 e 20/07/2017, de onde foram extraídas as informações sobre o solo. Para as análises dos resultados dos relatórios de sondagem, foi utilizada a tabela do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2015) como base para encontrar a tensão admissível do solo, que mostra a correlação com o Índice de Resistência à Penetração do Solo (NSPT) e tensões admissíveis do solo (Tabela 1).

Tabela 1: Correlação entre penetração e tensão admissível dos solos.

TIPO DE SOLO	Nº de Golpes SPT	Aparência	σ_{adm} (kgf/cm ²)
	≤ 2	Muito Mole	0,25
Argilas e Siltes	3 a 5	Mole	0,50
Argilosos	6 a 10	Média	1,00
	11 a 19	Rija	2,00
	> 19	Dura	4,00

	< 4	(Fofa) Areia fina e Média	1,00
Areias e Siltes Arenosos	5 a 8	(Fofa) Areia grossa	1,50
		(Pouco Compacta) Areia fina e Média	1,50
	9 a 18	(Pouco Compacta) Areia grossa	2,00
		(Medianamente Compacta) Areia fina e Média	2,00
	19 a 40	(Medianamente Compacta) Areia grossa	2,50
		(Compacta) Areia fina e Média	4,00
		(Compacta) Areia grossa	4,50

Fonte: ISF-207 (DNIT, 2015)

As informações extraídas dos resultados de uma investigação por sondagem SPT são: NSPT, Estratigrafia das camadas, nível de água e classificação tátil visual do solo.

4 Resultados e análises

4.1 Análise das Sondagens

As informações a respeito da área de estudo foram retiradas a partir dos relatórios de sondagem apresentadas nos anexos A, B e C. O critério de parada do ensaio SPT foi de acordo com a NBR 6484, no qual o cliente pode solicitar a interrupção do ensaio em caso de solos de menor resistência a depender da obra e das cargas que serão transmitidas. As profundidades das perfurações foram de acordo com a relação das cargas e tensão do solo no qual a região receberia de acordo o projeto, que no caso é de requalificação de uma praça.

A sondagem SP-001 foi realizada até a profundidade de 8,45 m e apresentou NSPT variando entre 1 e 20. Quanto a classificação dos materiais da referida sondagem, foram verificadas a presença de Areia argilossiltosa de cor amarela com espessura de 3 m, também foi verificada a presença de areia siltoargilosa de cor vermelha também com 3 m de espessura e uma camada de areia argilossiltosa/siltoargilosa com pedregulho cor vermelha. Destaca-se que não foi indicado o nível freático na sondagem SP-001 (ver ANEXO A).

De posse das informações do relatório de sondagem SP-001 de profundidade de oito metros e quarenta e cinco centímetros (Figura 2.a), pode-se observar que existe uma tensão admissível abaixo de 1 kg/cm² até os cinco metros de profundidade onde começa-se a ter uma melhora nos valores da tensão admissível, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Análise da sondagem: SP-001 – Correlação entre penetração e tensão admissível do solo

Profundidade e do ensaio (m)	Nº de golpes SPT ensaio	Nº de golpes SPT referência	Aparência	Tensão da correlação obtida (Kg/cm ³)
1 a 2	1	≤2	Muito mole	0,25
2 a 3	3	3 a 5	Mole	0,50
3 a 4	1	≤ 2	Muito mole	0,25
4 a 5	4	3 a 5	Mole	0,50
5 a 6	9	6 a 10	Média	1,00
6 a 7	11	11 a 19	Rija	2,00
7 a 8	20	>19	Dura	4,00
8 a 8,45	12	11 a 19	Rija	2,00

Quanto SP-002, esta sondagem foi executada até a profundidade de 15,45 m e apresentou NSPT variando entre 2 e 22. Quanto a classificação dos materiais da referida sondagem, foram verificadas a presença de Areia argilosiltosa de cor marrom com espessura de 3 m, também foi verificada a presença de Areia argilosiltosa de cor vermelha variando na profundidade de 3,00 -4,00, uma camada de Areia siltoargilosa de cor vermelha com profundidade variando nas cotas de 4,00-7,00 m, uma camada de Areia argilosiltosa/siltoargilosa com pedregulho e de cor vermelha com profundidade variando nas cotas de 7,00-9,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor amarela com profundidade variando nas cotas de 9,00-11,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor vermelha com profundidade variando nas cotas de 11,00-13,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor amarela escura com profundidade variando nas cotas de 13,00-14,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor amarela com profundidade variando nas cotas de 14,00-5,00 m e uma camada de Areia siltoargilosa de cor amarela clara com profundidade variando nas cotas de 15,00-15,45m. Destaca-se que não foi indicado o nível freático na sondagem SP-002 (ver ANEXO B).

Na perfuração denominada SP-002, com uma profundidade total de quinze metros quarenta e cinco centímetros (Figura 2.b), pode-se observar que existe uma tensão admissível abaixo de 1 kg/cm² dos três até os cinco metros de profundidade, se repetindo dos sete a oito metros onde começa-se a ter uma melhora nos valores da tensão admissível até os 4kg/cm² aos quinze metros quarenta e cinco centímetros, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Análise da sondagem: SP-002 – Correlação entre penetração e tensão admissível do solo.

Profundidade de do ensaio (m)	Nº de golpes SPT ensaio	Nº de golpes SPT referência	Aparência	Tensão da correlação obtida (Kg/cm ³)
1 a 2	9	6 a 10	Média	1,00
2 a 3	6	6 a 10	Média	1,00
3 a 4	2	≤ 2	Muito mole	0,25
4 a 5	5	3 a 5	Mole	0,50
5 a 6	6	6 a 10	Média	1,00
6 a 7	7	6 a 10	Média	1,00
7 a 8	4	3 a 5	Mole	0,50
8 a 9	4	3 a 5	Mole	0,50
9 a 10	10	6 a 10	Média	1,00
10 a 11	11	11 a 19	Rija	2,00
11 a 12	10	6 a 10	Média	1,00
12 a 13	6	6 a 10	Média	1,00
13 a 14	12	11 a 19	Rija	2,00
14 a 15	16	11 a 19	Rija	2,00
15 a 15,5	22	>19	Dura	4,00

Para a SP-003, esta sondagem foi executada até a profundidade de 15,45 m e apresentou NSPT variando entre 2 e 21. Quanto a classificação dos materiais da referida sondagem, foram verificadas a presença de Solo orgânico de cor cinza escuro na primeira camada de 1 m, uma camada de Areia siltosa de cor marrom com profundidade variando nas cotas de 1,00-2,00 m, uma camada de Areia argilosiltosa de cor amarela com profundidade variando nas cotas de 2,00-3,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor vermelha com profundidade variando nas cotas de 3,00-7,00 m, uma camada de Areia argilosiltosa/siltoargilosa com pedregulho e de cor vermelha com profundidade variando nas cotas de 7,00-9,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor amarela com profundidade variando nas cotas de 9,00-11,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor vermelha com profundidade variando nas cotas de 11,00-13,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor amarela escuro com profundidade variando nas cotas de 13,00-14,00 m, uma camada de Areia siltoargilosa de cor amarela com profundidade variando nas cotas de 14,00-15,00 m e uma

Escolha de alternativa para o melhoramento de solos utilizando resultados de sondagem SPT: um estudo de caso do Agreste Pernambucano

camada de Areia siltoargilosa de cor amarelo clara com profundidade variando nas cotas de 15,00-15,45 m. Destaca-se que não foi indicado o nível freático na sondagem SP-003 (ver ANEXO C).

Na perfuração denominada SP-003, com uma profundidade total de quinze metros quarenta e cinco centímetros (Figura 2.c), pode-se observar que existe uma tensão admissível abaixo de 1 kg/cm² até os quatro metros de profundidade, sendo considerado com uma consistência mole se repetindo de cinco a seis metros de profundidade onde começa-se a ter uma melhora nos valores da tensão admissível chegando a 1 kg/cm² de seis até dez metros de profundidade, sendo considerado com uma consistência média, nas profundidades de doze a treze, quinze a quinze metros e quarenta e cinco centímetros existe uma tensão admissível de 4kg/cm² (Tabela 5).

Tabela 5: Análise da sondagem: SP-003 – Correlação entre penetração e tensão admissível do solo.

Profundidade e do ensaio (m)	Nº de golpes SPT ensaio	Nº de golpes SPT referênci a	Aparência	Tensão da correlação obtida (Kg/cm ²)
1 a 2	2	≤2	Muito Mole	0,25
2 a 3	2	≤2	Muito Mole	0,25
3 a 4	2	≤2	Muito Mole	0,25
4 a 5	6	6 a 10	Média	1,00
5 a 6	5	3 a 5	Mole	0,50
6 a 7	8	6 a 10	Média	1,00
7 a 8	7	6 a 10	Média	1,00
8 a 9	10	6 a 10	Média	1,00
9 a 10	10	6 a 10	Média	1,00
10 a 11	13	11 a 19	Rija	2,00
11 a 12	14	11 a 19	Rija	2,00
12 a 13	23	> 19	Dura	4,00
13 a 14	18	11 a 19	Rija	2,00
14 a 15	18	11 1 19	Rija	2,00
15 a 15,5	21	>19	Dura	4,00

O uso de dados de sondagens SPT como apresentados na presente pesquisa para avaliar alternativas de melhoramento de solos tem sido tema de diversos estudos em engenharia civil. Em particular, o uso de jet grouting tem sido apontado como uma técnica eficaz para melhorar solos com baixos valores de NSPT.

Tais verificações foram apontadas por [20], indicando que o jet grouting é capaz de aumentar significativamente a resistência e a rigidez do solo, reduzindo sua compressibilidade e melhorando suas características mecânicas. Os autores destacam ainda que a técnica é particularmente útil em solos com baixo NSPT, que apresentam baixa capacidade de suporte e deformação excessiva.

Outro estudo que também aponta é o [21], que utilizou dados de sondagens SPT para avaliar a eficácia do jet grouting em solos argilosos de baixa qualidade. Os resultados indicaram que a técnica foi capaz de melhorar significativamente a resistência e a rigidez do solo, além de reduzir a deformação e a compressibilidade.

Já o estudo de [22] destacou a importância de se avaliar corretamente os parâmetros geotécnicos do solo antes e depois do processo de melhoramento com jet grouting. Os autores ressaltam que o uso de dados de sondagens SPT é fundamental para se obter uma avaliação precisa das características mecânicas do solo.

Por fim, o estudo de [22] abordou a influência do espaçamento entre colunas de jet grouting na melhoria das propriedades mecânicas do solo. Os resultados indicaram que um espaçamento adequado entre as colunas é fundamental para se obter uma melhoria significativa na resistência e na rigidez do solo, especialmente em solos com baixo NSPT.

No Anexo D é possível verificar o a estratigrafia do terreno nos pontos em que foram realizados os furos das três sondagens.

4.2 Escolha da melhor alternativa de melhoramento

Atualmente, na resolução de problemas graves de fundação, as técnicas de melhoramento de solos têm-se revelado cada vez mais importantes, utilizando para este fim, explosivos ou energia de impacto, tratamento térmico do solo, ou sistemas de injeção de materiais cada vez mais avançados. Neste contexto, a aplicação de misturas ao solo que induzem alteração em suas propriedades mecânicas, proporcionando seu melhoramento [13].

A Tabela 2 apresenta alguns métodos de reforço e melhoramento de solo e suas respectivas características como embasamento para escolha da melhor alternativa de melhoramento.

Tabela 2: Tipos de melhoramento de solo.

Métodos de reforço e melhoramento de solo	Característica
Pré-carga	A pré-carga é realizada através do peso incremental do elemento, tendo como exemplo o aterro, podendo ser de carácter definitivo ou provisório, na sua superfície. Esta técnica tem como objetivo aumentar a resistência ao corte do solo e diminuir assentamentos secundários [14].
Vibrocompactação	Procedimento recomendado para solos granulares com teor de finos inferior a 10-15%, abaixo do lençol freático, podendo ser aplicada a profundidades de até 20m. Esta técnica é utilizada também na redução da subsidência sísmica e potencial de liquefação, permitindo a construção sobre depósitos de solos granulares fofos [15].
Estacas cravadas	A aplicação de estacas cravadas no solo proporciona um acréscimo da capacidade de carga do mesmo [14].
Compactação "in situ"	A técnica de compactação estabiliza os solos que com aplicação de alguma forma de energia. A compactação pode dividir-se em compactação dinâmica e compactação com explosivos [14].
Compactação dinâmica e por explosivos	No que diz respeito a compactação dinâmica esta atinge uma profundidade máxima de quarenta metros e o número de impactos por m ³ de terreno deverá ser de 2 a 3. Já na compactação por explosivos é utilizado, dinamite, Trinitrotolueno (TNT) ou amonite [14].
Tratamentos Térmicos	A técnica de Tratamento Térmico do solo, que funciona por arrefecimento ou aquecimento do mesmo, recorre por vezes ao congelamento provisório, com uso de azoto líquido e congeladores, permitindo a congelação da água existente nos poros do solo, melhorando assim a sua resistência ao corte e capacidade mecânica. Esta técnica é de uso limitado, pois só é viável em climas muito frios, o que limita bastante o seu uso [16].
Jet Grouting	O jet-grouting melhora o solo agindo no interior do terreno sem escavação anterior, utilizando um ou mais jatos horizontais de elevada velocidade (cerca de 250m/s) que aplicam a sua elevada energia cinética na desagregação da estrutura do terreno natural e na mistura de calda de cimento com as partículas de solo desagregado [17].

Entre esses métodos citados foi possível verificar vantagens e desvantagens. Existem métodos rápidos, porém com custo muito elevado, e métodos menos dispendiosos, mas que acarretam um longo período até gerarem os efeitos desejados. Além disto deve-se observar se o método é aplicável, nem todas as

soluções permitem obter os mesmos resultados e nem todos os projetos têm as mesmas imposições. No entanto, a escolha do método não dependerá somente da técnica ou da viabilidade econômica e de tempo, será sempre o resultado entre esses fatores com aspectos construtivos e de disponibilidade de maquinaria e mão-de-obra [18].

5 Conclusões

Foi concluído que os métodos de indução de resistência proporcionam uma maior segurança para o desenvolvimento da obra. Na análise documental pode-se observar que através da utilização da técnica de indução de resistência o empreendimento poderá ser viabilizado demonstrando assim a importância da investigação geológica realizada previamente bem como o desenvolvimento da técnica de melhoramento do solo.

O método de melhoramento de solo Jet-Grouting é o método mais indicado para o caso em estudo. Apesar das particularidades, esse método é o mais apropriado pois demonstra ser um método pouco invasivo, que não utiliza de vibrações, explosões ou técnicas destrutivas. A escolha do método não dependeu apenas da técnica em questão, mas sim dos fatores que circundam a área em estudos que são: grandes conjuntos habitacionais, grande movimentação de pessoas e veículos, que inviabiliza o uso das técnicas que utilizam a vibração, explosivos, máquinas de grande porte, ou técnicas que dependem do clima.

Em suma, o uso de jet grouting tem se mostrado uma técnica eficaz para melhorar solos com baixos valores de N_{SPT} . A análise correta dos dados de sondagens SPT é fundamental para se obter uma avaliação precisa das características mecânicas do solo e para se determinar a melhor estratégia de melhoramento.

Referências

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2016). NBR 7181. Solo – Análise Granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro.

[19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6484: Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio, Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

[4] BATISTA, C. F. N. (1976). Ensaio Fundamentais para a Pavimentação e Dimensionamentos dos Pavimentos Flexíveis. Vol. 1, 2ª Edição, Editora Globo, Porto Alegre, RS.

[1] CRUZ, M. L.; JALALI, S. Melhoramento do desempenho de misturas de solo-cimento com recurso a activadores de baixo custo. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia. 2010.

[23] CAI, F., WANG, X., CHEN, G., & LIU, J. (2020). Effect of column spacing on the mechanical improvement of jet-grouted soil. *Geomechanics and Engineering*, 22(6), 553-561.

[12] CRUZ, I. O. (2018). Análise do método jet grouting como fundação profunda. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Centro Universitário de Formiga - UNIFOR, Formiga.

[21] ERCOLI, L., LEONI, M., & VESTRONI, F. (2019). Jet grouting for the improvement of low-quality clayey soils: effectiveness assessment and numerical modelling. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(5), 3265-3280.

[2] DE SOUZA, A. P. Q., DA SILVA, L. I., DE AMORIM JUNIOR, W. M., & DA SILVA RAMOS, M. C. L. (2016). Avaliação de Método de Melhoramento de Solo (Em Profundidade) para Redução de Custos de Fundações. XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica.

[11] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT (2015). DNIT ISF-207: Estudos Geotécnicos. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/7355516-Isf-207-estudos-geotecnicos-os-estudos-geotecnicos-serao-desenvolvidos-em-duas-fases.html> > Acesso em: 15 jun. 2018.

[7] DOS SANTOS, H. G., CARVALHO JUNIOR, W. D., DART, R. D. O., ÁGLIO, M. L. D., DE SOUSA, J. S., PARES, J. G., & DE OLIVEIRA, A. P. (2011). O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Embrapa Solos-Documents (INFOTECA-E).

[16] LOPES, P. N. P. (2010). Projecto Geotécnico - Execução de fundações profundas. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)

[10] MACHADO, S. L. (2007). Mecânica dos Solos I: Conceitos introdutórios. Bahia. Departamento de Ciência e Tecnologia dos materiais (Setor de Geotecnia). Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica. Disponível em: < <http://tiny.cc/t0amkz> > Acesso em: 19 jun. 2018.

[9] MARINHO, F. A. M. (2005). Investigação Geotécnica para Quê. Universidade de São Paulo. – COBRAE, vol. 2. Disponível em: < <http://tiny.cc/w3amkz> > Acesso em: 19 jun. 2018.

[18] MARQUES, D. A. O. Reforço de solos de fundação com colunas de jet grouting encabeçadas por geossintéticos. 2008. 157f. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. Disponível em: <https://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/58775/1/000129221.pdf> Acesso em: 22 jun. 2018.

[6] MOUSAVI, S.E., KARAMVAND, A. (2017). Assessment of strength development in stabilized soil with CBR PLUS and silica sand. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, (English Edition), JTTE: 142

[15] MUÑOZ, C. C. E. (2014). Avaliação numérica da técnica de bulbos de compactação em um depósito de areia fofa. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

[17] PEREIRA, C. D. D. (2008). Aplicação de Jet-Grouting em escavações profundas em solos moles. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

[20] RAMIAH, M., SIVAKUMAR, V., & REDDY, K. R. (2017). A comparative study on improvement of soil properties using jet grouting and stone columns. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(3), 1317-1331.

[14] RIBEIRO, A. L. S. (2010). Técnica de tratamento de solos-Jet Grouting. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

[3] RODRIGUES, J. Melhoramento do Solo Mole. Soft Soil Brazilian Institute. 2018. Disponível em:

<http://softsoilgroup.com.br/melhoramento-do-solo-mole/>. Acesso em: 07 set. 2020.

Departamento f Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, PUC-Rio, Brazil.

[13] SILVA, Mariana Fernandes da. Estudo comparativo de dois solos argilosos estabilizados com cal. 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

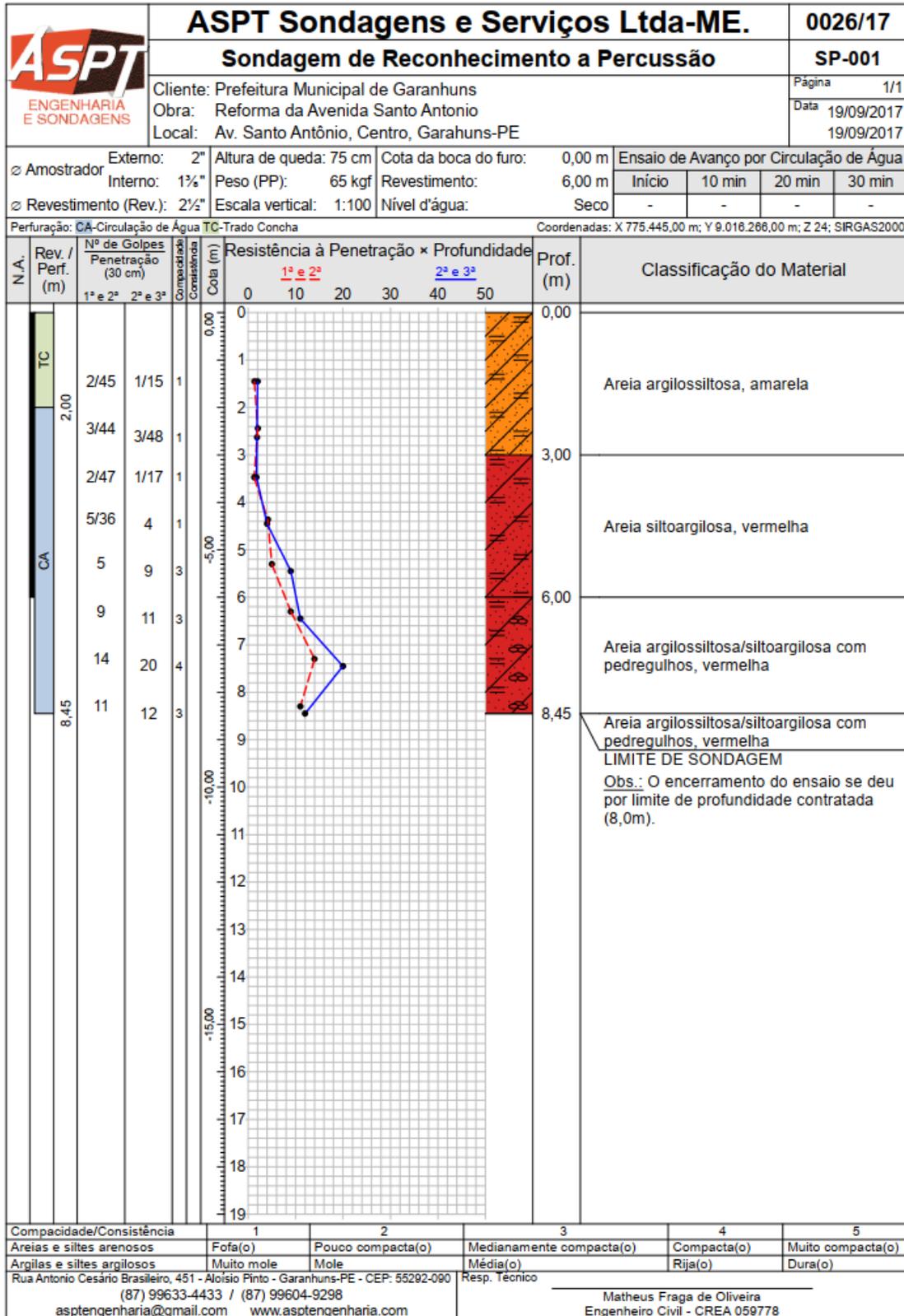
[22] YU, H., WANG, X., ZHANG, Y., & HE, S. (2018). Mechanical behavior of soft soils improved by jet grouting based on SPT and triaxial tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(4), 04018005.

[5] VIZCARRA, G. O. C. 2010. Aplicabilidade de cinzas de Resíduo Solido Urbano para base de Pavimentos. M.Sc. Civil Engineering

Escolha de alternativa para o melhoramento de solos utilizando resultados de sondagem SPT: um estudo de caso do Agreste Pernambucano

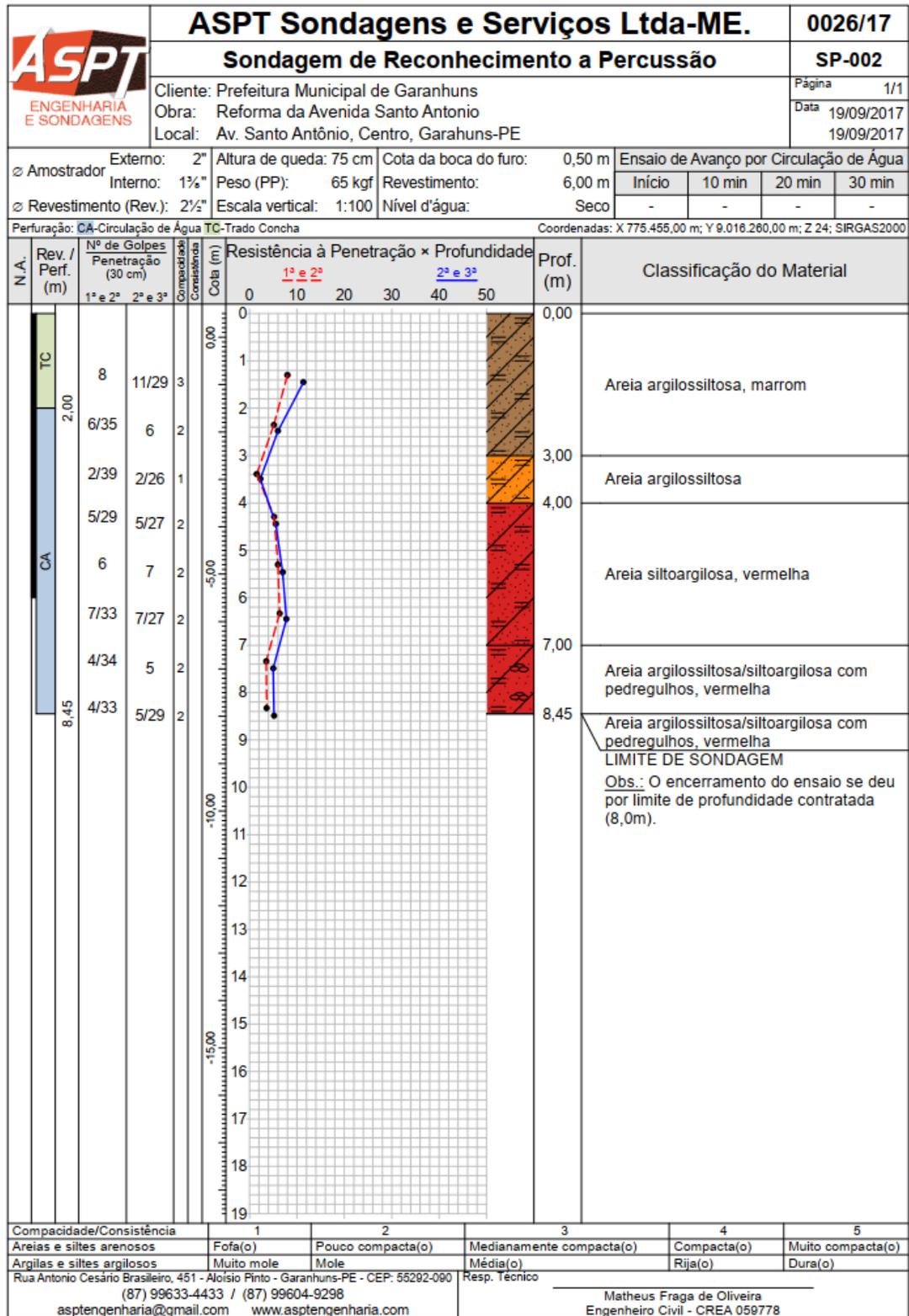
Anexos

Anexo A: Sondagem SP-001



CONFORME NBR 6484:2001

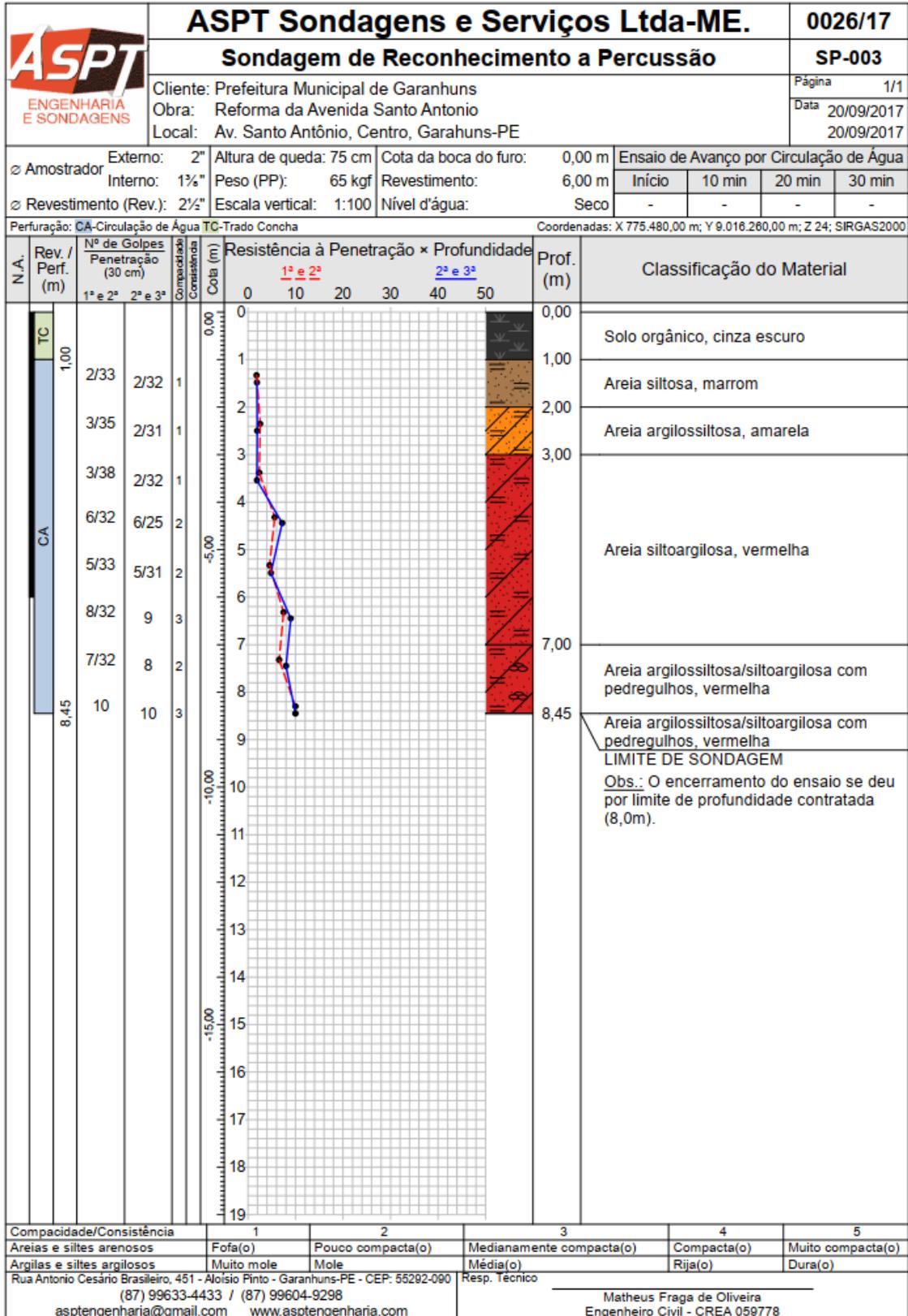
Anexo B: Sondagem SP-002



CONFORME NBR 6484:2001

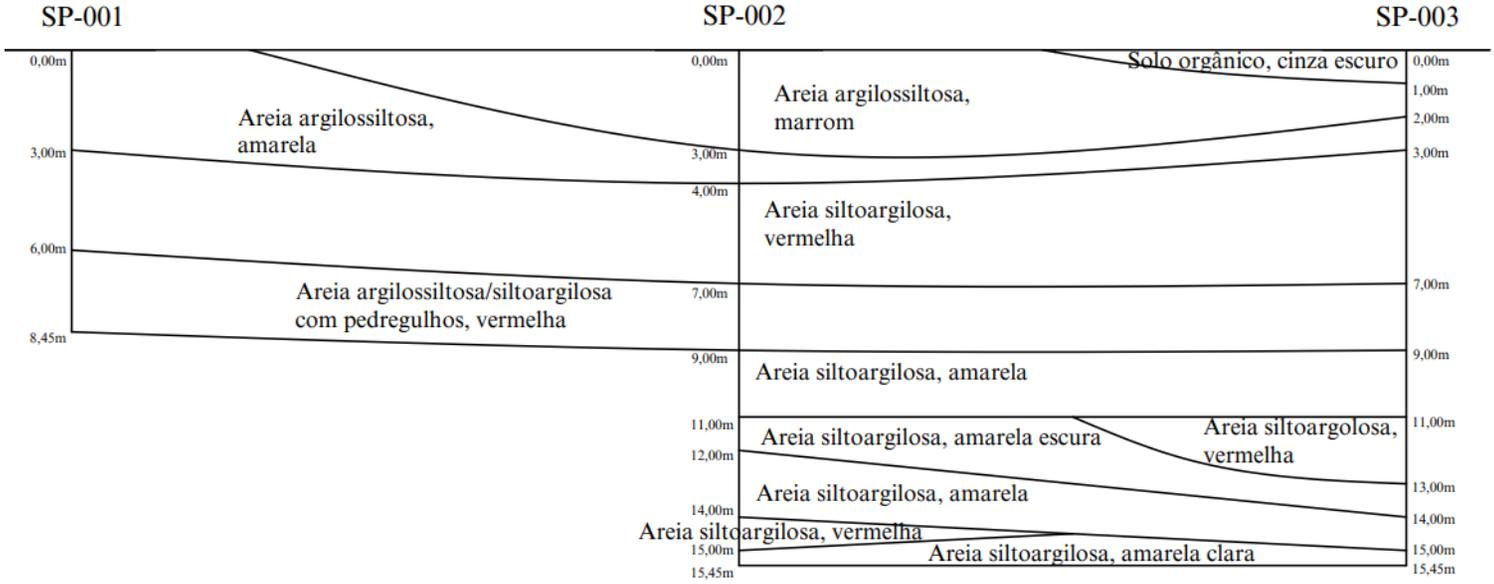
Escolha de alternativa para o melhoramento de solos utilizando resultados de sondagem SPT: um estudo de caso do Agreste Pernambucano

Anexo C: Sondagem SP-003



CONFORME NBR 6484:2001

Anexo D: Seção dos três perfis de sondagens



Anexo E: Termo de consentimento Livre e Esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Declaro, por meio deste termo, enquanto representante da empresa ASPT Engenharia, que concordei em ser entrevistado (a) e/ou participar na pesquisa de campo referente ao projeto/pesquisa intitulado (a) Melhoramento da resistência do solo desenvolvida (o) por Luciano Fraga Almeida.

Fui informado (a), ainda, de que a pesquisa é [coordenada / orientada] por: Ms. Krystal de Alcântara Notaro / Ms. Alice Jadneiza Guilherme de Albuquerque Almeida, a quem poderei contatar / consultar a qualquer momento que julgar necessário através do telefone nº (87) 999152557 ou e-mail krystal.notaro@gmail.com, aliceguilherme@hotmail.com.

Afirmo que aceitarei participar por minha própria vontade, sem receber qualquer incentivo financeiro ou ter qualquer ônus e com a finalidade exclusiva de colaborar para o sucesso da pesquisa. Fui informado (a) dos objetivos estritamente acadêmicos do estudo, que, em linhas gerais é estudar os principais métodos utilizados para o melhoramento do solo bem como qual método seria melhor aplicado no caso da avenida Santo Antônio na cidade de Garanhuns-PE.

Minha colaboração se fará de forma declarada, por meio da entrega dos relatórios de sondagens. O acesso e a análise dos dados coletados se farão apenas pelo (a) pesquisador (a) e/ou seu (s) orientador (es) / coordenador (es).

Garanhuns, 25 de junho de 2018

Assinatura do(a) participante: Anwar El Sobhy T. Valies

Assinatura do(a) pesquisador(a): Luciano Fraga Almeida

Assinatura do(a) testemunha(a): Luciano Fraga Almeida