

Influência da Contaminação por Combustíveis na Capacidade de Suporte dos Solos de Fundações

Valquíria Pereira Lima
UFOP, Ouro Preto, Brasil, valquiria.lima9247@gmail.com

Hebert da Consolação Alves
UFOP, Ouro Preto, Brasil, alves@ufop.edu.br

RESUMO: O solo, além de ser um componente essencial do ambiente natural, também já foi depósito de resíduos gerados pelo ser humano. Ele desempenha diversos papéis importantes, especialmente na construção civil, onde serve como a base fundamental para qualquer edificação. Suas propriedades determinam características cruciais do projeto, influenciando a estabilidade e a segurança das estruturas. Uma das principais propriedades dos solos é a sua capacidade de carga, definida como a tensão transmitida pela fundação para o solo que pode causar seu rompimento. Essa capacidade é essencial para o desenvolvimento de projetos de engenharia civil, garantindo que as construções possam suportar as cargas aplicadas sem comprometer sua integridade. O artigo em questão comparou as propriedades do solo contaminado por combustíveis, resultantes de vazamentos de tanques subterrâneos em postos de combustível, com as do solo não contaminado. O objetivo foi avaliar a influência da contaminação nas características geotécnicas dos solos, aplicadas em fundações. Para tanto, foram realizados uma série de ensaios para determinar as características físicas e mecânicas dos solos contaminado e não contaminado. Esses ensaios incluíram: Análise Granulométrica; Índices de Consistência; Ensaio de Densidade; Teor de Umidade; Adensamento; Cisalhamento Direto. Além desses ensaios, as capacidades de carga dos solos foram determinadas seguindo a Teoria de Terzaghi e a Teoria de Vésic. A sondagem também foi realizada para determinar a capacidade de carga do solo arenoso e medianamente compacto, oferecendo uma visão mais completa da influência da contaminação por combustíveis nas propriedades geotécnicas dos solos. Os resultados dessas análises são fundamentais para entender como a contaminação por combustíveis pode afetar a estabilidade das fundações e, conseqüentemente, a segurança das construções. A comparação entre solos contaminados e não contaminados fornece insights valiosos para engenheiros civis e geotécnicos, permitindo o desenvolvimento de soluções mais seguras e eficientes para a construção em áreas potencialmente contaminadas.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, solo contaminado, capacidade de carga de fundações.

ABSTRACT: Soil, in addition to being an essential component of the natural environment, has also been a depository for waste generated by humans. It plays several important roles, especially in construction, where it serves as the fundamental basis for any building. Its properties determine crucial design characteristics, influencing the stability and safety of structures. One of the main properties of soils is their load capacity, defined as the tension transmitted by the foundation to the soil that can cause it to break. This capacity is essential for the development of civil engineering projects, ensuring that buildings can withstand applied loads without compromising their integrity. The article in question compared the properties of soil contaminated by fuels, resulting from leaks from underground tanks at gas stations, with those of uncontaminated soil. The objective was to evaluate the influence of contamination on the geotechnical characteristics of soils, applied to foundations. To this end, a series of tests were carried out to determine the physical and mechanical characteristics of contaminated and uncontaminated soils. These tests included: Granulometric Analysis; Consistency Indices; Density Test; Moisture Content; Densification; Direct Shear. In addition to these tests, the bearing capacities of the soils were determined following Terzaghi's Theory and Vésic's Theory. The survey was also carried out to determine the bearing capacity of the sandy and moderately compact soil, offering a more complete view of the influence of fuel contamination on the geotechnical properties of the soil. The results of these analyzes are fundamental to understanding how fuel contamination can affect the stability of foundations and, consequently, the safety of buildings. Comparing contaminated and uncontaminated soils provides valuable insights for civil and geotechnical engineers, enabling the development of safer and more efficient solutions for construction in potentially contaminated areas.

KEYWORDS: Foundations, contaminated soil, foundation load capacity.

1 INTRODUÇÃO

O solo exerce um papel importante na construção civil, sendo a base para qualquer construção e determinando características essenciais do projeto devido a suas propriedades. O solo exerce um papel importante na construção civil, sendo a base para qualquer construção e determinando características essenciais do projeto devido a suas propriedades.

Desde o século XVIII, com os processos de industrialização e a exploração não sustentável dos recursos naturais, a humanidade gera resíduos que pode causar a contaminação do solo. (MORITA, 2010). No solo, ao contrário da água ou ar não se detecta facilmente a contaminação, ou as consequências dos danos. Por este motivo o solo se transforma em um depósito dos resíduos gerados pelas indústrias, causando danos irreparáveis ao meio ambiente.

A Morita, 2010, ressalta a dificuldade da realização de trabalhos envolvendo solos contaminados no Brasil e a escassez de pesquisadores nessa área. Percebe-se a mesma carência devido a pesquisas realizadas para o decorrente trabalho e ressalta-se a importância do mesmo para a área de construção civil.

As fundações são elementos estruturais importantes da construção civil devido à transferência de carga da estrutura para o solo. É necessário a realização de estudos geotécnicos para a concepção de um bom projeto de fundação para não ocorrerem patologias indesejáveis na construção. Sendo assim, a investigação do subsolo se torna primordial para qualquer construção, pois o resultado de uma investigação ineficiente pode comprometer a edificação. (MAGALHÃES, SEGRE, URBAN; 2022)

2 OBJETIVO

O presente trabalho visa comparar as propriedades do solo contaminado por combustíveis oriundos de vazamentos de tanque subterrâneo de posto de combustível e do solo não contaminado, para avaliara influência em suas características geotécnicas aplicados em fundações. Tendo como principais objetivos: Realizar uma revisão de literatura abordando o conceito de fundações, capacidade de suporte de solos às fundações, contaminação de solos por combustíveis e alterações na capacidade de carga dos solos devido à contaminação; caracterizar em laboratório as propriedades dos solos contaminados e não contaminados; comparar as propriedades dos solos e avaliar a influência do solo contaminado sobre as fundações.

3 METODOLOGIA

3.1 Coleta das Amostras

As amostras dos solos foram coletadas em um lote na cidade de Ponte Nova–MG, em terreno do município de ponte nova mg onde funcionava um posto de combustíveis e agora será construído outro tipo de edificação. As mesmas foram coletadas em diversos locais onde serão realizados os pilares da construção. O solo contaminado por combustíveis se deu através do vazamento de tanque subterrâneo de postode combustível.

Foi definido para este procedimento experimental a realização da caracterização do solo em torno do pilar 07 devido à localização, análise visual de contaminação e pela tensão a ser aplicada em projeto, conforme a Figura 1.

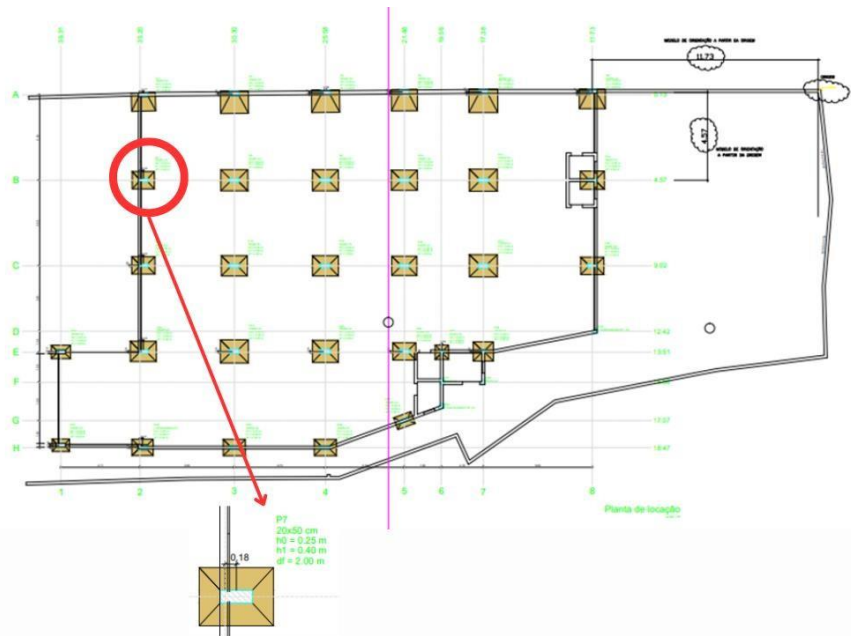


Figura 1. Planta de localização (Fornecido pela construtora, 2023)

As amostras foram enviadas para o Laboratório de Ferrovias e Asfalto do Departamento de Engenharia Civil da UFOP. Foram realizados os de caracterização incluindo os ensaios de Adensamento unidirecional e Cisalhamento direto do solo no Laboratório do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada (CTGA) no Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas (NUGEO) da UFOP, os demais ensaios foram realizados no Laboratório de Ferrovias e Asfalto. As amostras utilizadas para os ensaios foram reconstituídas, a condição de campo foi efetuada realizando ensaios de densidade de amostras indeformadas e comparando com as amostras compactadas em laboratório. Não foi possível a retirada de amostras indeformadas em campo devido ao lençol freático elevado.

Estudo foi feito na região do pilar de número sete. A empresa apresentou o ensaio de sondagem e o Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana que apresenta uma análise qualitativa do potencial de risco à saúde humana causado pela exposição dos atuais e futuros receptores às substâncias químicas de interesse, identificadas na amostragem do solo oriundo de escavação realizada no terreno de estudos.

3.2 Caracterização do Solo Contaminado e Não Contaminado

A análise granulométrica por peneiramento e por sedimentação foi realizado segundo a ABNT NBR 7181:2016. O limite de liquidez e o limite de plasticidade foram obtidos seguindo as normas ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016 respectivamente. O ensaio de teor de umidade e o ensaio de densidade foram obtidos seguindo as normas ABNT NBR 6457:2016 e ABNT NBR 6458:2016. O ensaio de cisalhamento direto foi desempenhado segundo a American Society for Testing and Materials (ASTM) D3080-11. Para o ensaio de adensamento unidirecional foi empregado a seguinte norma ABNT NBR 1683:2020.

3.2.1 Estudo de Capacidade de Carga

O estudo de carga do Pilar 7 foi realizado baseando na Teoria de Terzaghi (1943) e Teoria Vésic (1974). Para realizar o estudo de capacidade carga utilizou-se a equação 1 (VELLOSO, LOPES, 2011). Seguiu a forma de uma sapata retangular já definida no projeto de locação.

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot S_c + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + q \cdot N_q \cdot S_q \quad (1)$$

4 RESULTADOS

4.1 Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana

Segundo o relatório o fornecido pela empresa foram realizados ensaios laboratoriais visando determinar

os seguintes parâmetros: carbono orgânico total (TOC), matéria orgânica, pH do solo, densidade de partículas, umidade natural, granulometria, porosidade total, porosidade efetiva e densidade aparente. O relatório de risco à saúde humana verificou que não há riscos à saúde para trabalhadores, sendo a área classificada como Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR), segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n° 02, de 08 de setembro de 2010.

4.2 Sondagem

A empresa que realizou a sondagem identificou um solo com alta resistência superficial, sendo que no primeiro furo alcançou a rocha aos 3,07 metros de profundidade e nível da água em 2,40 metros apresentado na Figura 2, no segundo furo alcançou a rocha aos 3,50 metros de profundidade e nível da água em 2,60 metros, evidenciado na Figura 3. Analisando o nível em que foi encontrado água provavelmente o lenço freático, além do solo, foi contaminado com combustível. O índice N 01 foi de 16 e índice N 02 foi de 18. Sendo o solo é definido como arenoso, medianamente compacto, com tensão admissível entre 2,0 e 4 kg/cm². Indicaram-se fundações profundas do tipo estaca escavada ou fundações rasas.

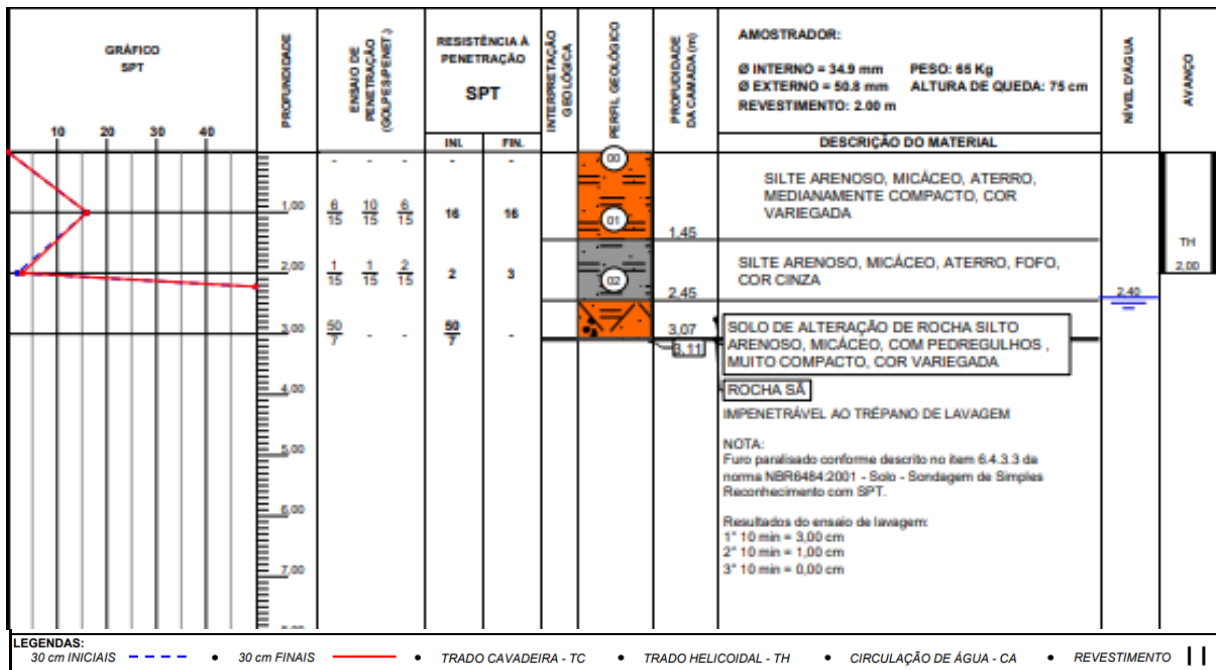


Figura 2. Boletim de sondagem SPT 01 (Fornecido pela construtora, 2023)

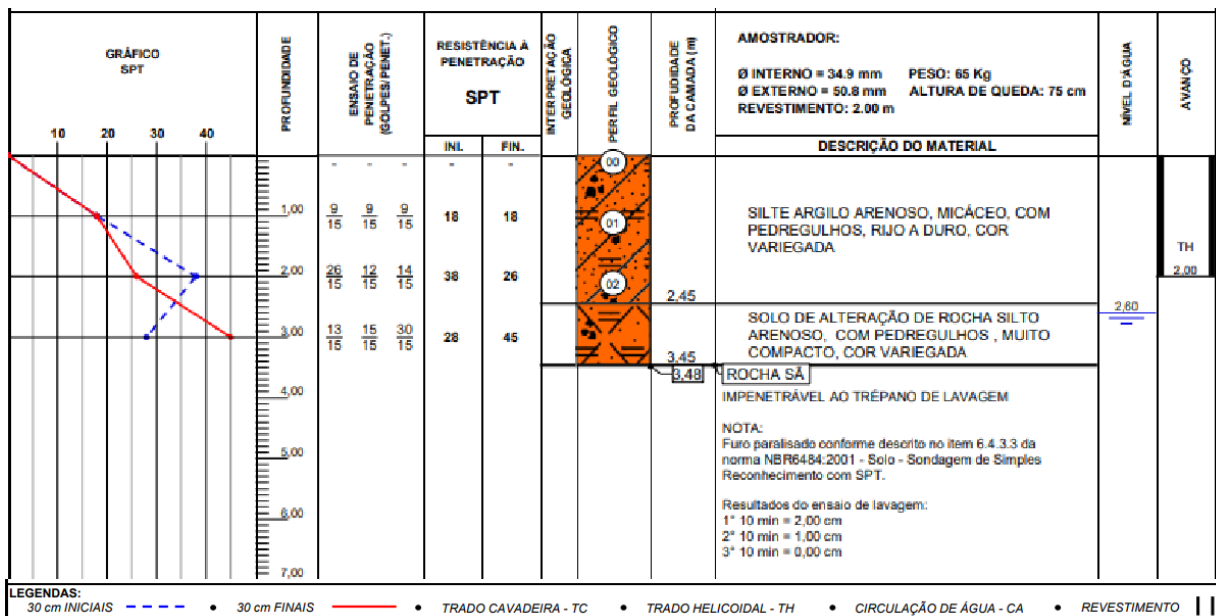


Figura 3. Boletim de sondagem SPT 01 (Fornecido pela construtora, 2023)

4.3 Ensaios de Caracterização Física

4.3.1 Granulometria

Na Figura 4 é apresentado as curvas granulométricas dos solos, realizou-se o ensaio de sedimentação como defloculante e sem o defloculante para analisar o comportamento do solo contaminado. Analisando a curva do solo não contaminado observou-se um solo grosso bem graduado, e para o solo contaminado um solo fino.

As curvas do solo contaminado apresentam um percentual passante na fração silte superior ao não contaminado. Tal fato pode ter ocorrido devido a maior concentração de silte em determinada profundidade ou por algum processo químico que pode ter ocorrido devido ao processo de contaminação.

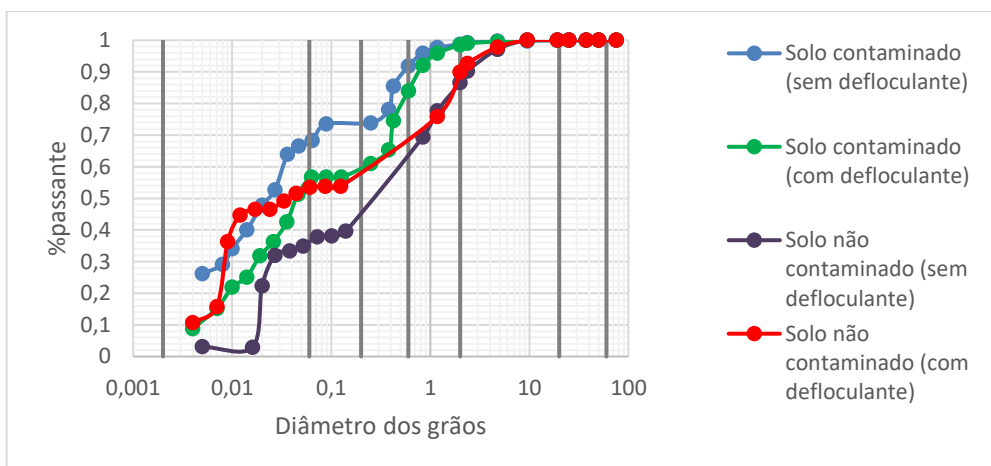


Figura 4. Curva granulométrica

4.3.2 Índices de Consistência, Teor de Umidade e Densidade

Na Tabela 1 é apresentado os índices de consistência juntamente com o teor de umidade e a densidade do solo contaminado e do solo não contaminado.

Tabela 1. Parâmetros dos solos.

	Índices de consistência			Teor de umidade (%)	Densidade (kN/m ³)
	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)		
Solo Contaminado	37,29	26,07	11,23	23,65	25,94
Solo Não Contaminado	33,63	24,90	8,73	14,94	26,22

Os solos apresentaram um índice de plasticidade entre 7 e 15, isso quer dizer que os solos são mediamente plásticos, segundo classificação de Jenkins (CAPUTO, 1987). O teor de umidade foi obtido através do método da estufa e para realização dos ensaios de adensamento e cisalhamento. Os valores apresentados nos ensaios de caracterização física foram semelhantes para os dois solos.

4.3 Ensaios de Caracterização Mecânica e de Capacidade de Suporte dos Solos

4.3.1 Adensamento

As curvas apresentadas na Figura 5 são as curvas de altura do corpo de prova em função da raiz quadrada do tempo. Com as curvas determinou os coeficientes de adensamento pelo processo de Taylor o T90 e H90 necessários para o ensaio de cisalhamento direto, evidenciados na Tabela 2 Ao analisar as curvas percebe-se uma semelhança no comportamento dos solos.

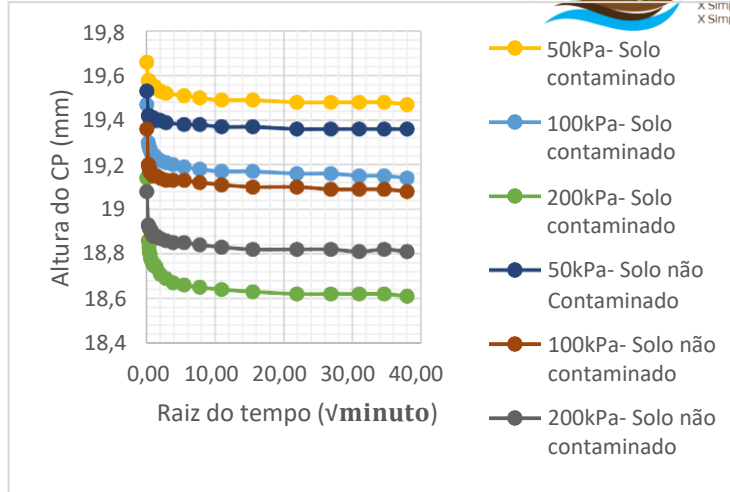


Figura 5. Gráfico de altura do corpo de prova (mm) x raiz do tempo ($\sqrt{\text{minuto}}$)

Tabela 2- Parâmetros dos solos obtidos pelo adensamento.

	Carga	T90	Velocidade	Coefficiente de adensamento
Solo contaminado	50	5,76	0,15	14,07
	100	1,21	0,712	65,05
	200	2,89	0,298	25,89
Solo não contaminado	50	3,42	0,252	23,344
	100	1	0,862	78,025
	200	1,69	0,51	44,84

4.3.2 Cisalhamento Direto

O ensaio de cisalhamento direto fornece dois gráficos que estão apresentados na Figura 6. O gráfico de tensão horizontal por deformação horizontal indica a tensão cisalhante do corpo de prova correspondente a tensão normal aplicada. O equipamento que realiza os ensaios fornece os dados para que os gráficos possam ser construídos.

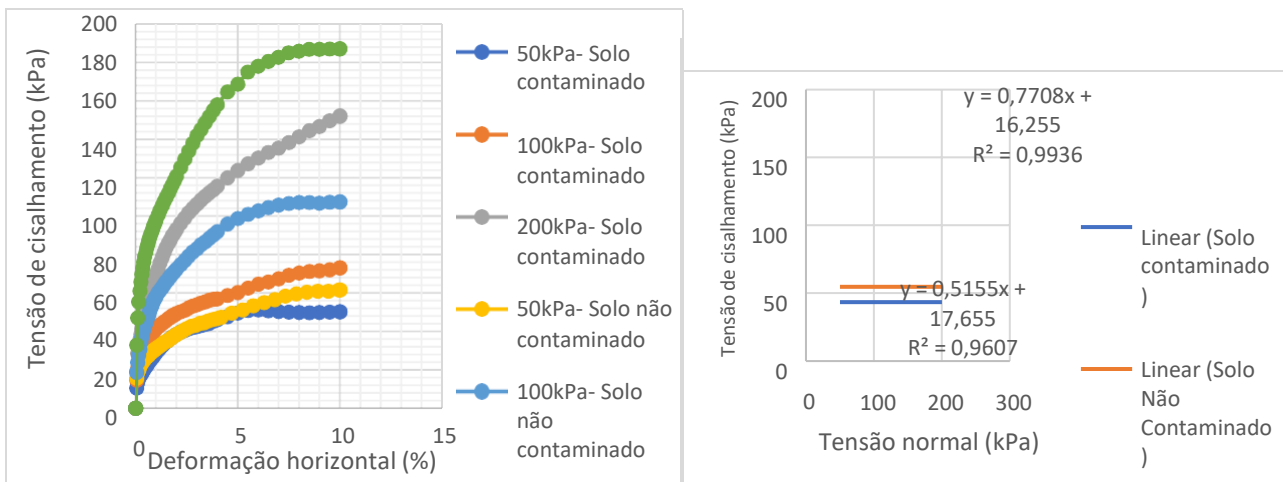


Figura 6. Gráfico tensão de cisalhamento (kPa) x deformação horizontal (%). Gráfico tensão normal (kPa) x Tensão de cisalhamento (kPa).

Assim, define o gráfico de tensão de cisalhamento pela tensão normal, Figura 6. Do gráfico, obtém a coesão e o ângulo de atrito apresentado na Tabela 3. A coesão dos solos se assemelha, mas o ângulo de atrito difere um pouco isso influencia diretamente nos fatores de capacidade de carga.

Tabela 3-Coesão e ângulo de atrito dos solos.

	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
Solo contaminado	17,655	26,53
Solo não contaminado	16,255	37,63

4.3.2 Estudo da Capacidade de Carga

A sapata definida pelo projeto estrutural de fundação fornecido pela empresa definiu a base com 0,9 metros e a largura igual a 1,15 metros e altura de 1 metro. A tensão efetiva do solo foi definida pela multiplicação do peso específico pela altura da sapata, sendo igual a 52,4 kPa para o solo não contaminado e 51,8 kPa para o solo contaminado. A condição adotada para a ruptura foi a condição drenada pois o ângulo de atrito foi diferente de zero. Foi considerado ruptura geral para os dois solos. Os fatores de capacidade de carga, e os fatores de forma estão apresentados na Tabela 4, para Teoria de Terzaghi.

Tabela 4- Fatores de capacidade de carga e fatores de forma para Teoria de Terzaghi.

Fatores de capacidade de carga em função dos ângulos de atrito do solo;	N_c	N_q	N_γ
Solo não contaminado	60	55	45
Solo contaminado	26	15	17
Fatores de forma	– $\frac{S_c}{1,1}$	$\frac{S_q}{1}$	$\frac{S_\gamma}{0,9}$

Assim, calculou a capacidade de carga do solo segundo a equação (1) capacidade de carga do solo não contaminado resultou em 2991,325 kPa e do solo contaminado em 1071,7545 kPa.

Os fatores de capacidade de carga e os fatores de forma foram definidos para a Teoria de Vésic, sendo os mesmos apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Fatores de capacidade de carga e fatores de forma para .

Fatores de capacidade de carga em função dos ângulos de atrito do solo	N_c	N_q	N_γ
Solo não contaminado	59,15	46,60	73,39
Solo contaminado	23,13	12,55	13,53
Fatores de forma	S_c	S_q	S_γ
Solo não contaminado	1,62	1,60	0,69
Solo contaminado	1,42	1,39	0,69

Posteriormente, calculou a capacidade de carga do solo segundo a equação (1) capacidade de carga do solo não contaminado resultou em 4106,258 kPa e do solo contaminado em 1141,906 kPa.

5 CONCLUSÃO

Por meio das análises realizadas, observa-se que apesar dos solos apresentarem características físicas semelhantes, os resultados encontrados para a capacidade de carga foram bastante distintos. A capacidade de carga do solo não contaminado foi em torno de 4 vezes a capacidade de carga do solo contaminado. Os solos contaminados por combustível necessitam de mais estudos que busquem avaliar sua capacidade quando for submetido a cargas de fundações. Sendo que a fundação é um dos elementos mais importantes da construção a atenção deve ser redobrada para o solo que irá receber esse elemento. Assim, o solo contaminado pode ter uma capacidade de carga de fundação inferior a capacidade de carga de um solo não contaminado. Isso se dá pela influência do combustível a propriedades geotécnicas dos solos, especificamente ao ângulo de atrito dos solos que influencia diretamente na capacidade de carga, fazendo com que o solo perca resistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457. *Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6458. *Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo — Análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16853. *Solo — Ensaio de adensamento unidimensional*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6122. *Projeto e execução de fundações*. Rio de Janeiro.
- ASTM International (2012). ASTM D3080-11: *Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*.
- Caputo, H. P. (1988) *Mecânica dos solos e suas aplicações - Fundamentos*. Ed. L TC -Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. L TC -Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro,
- Magalhães, J. L., Segre, T.S. P., Urban, R. C. (2022) *Importância de ensaios geotécnicos em obras de pequeno porte: uma abordagem estatística multivariada*. UNES-Faculdade de Engenharia de Bauru.
- Morita, D. M. (2010) *Prevenção e controle da poluição da água e do solo acusada por resíduos industriais perigosos*. Tese (Livre-Docência). Escola Política da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.
- Veloso, D. A., Lopes, F. R. (2004) *Fundações*. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Ebook. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br> . Acesso em: 29 mar. 2023.