

Influência da Contaminação por Óleo Diesel na Resistência à Compressão Não Confinada de um Solo Laterítico Arenoso

Gleicy Loany de Alencar Cardoso

Doutoranda, UEM, Maringá-PR, Brasil, cardoso.gleicy@hotmail.com

Gabriela Bento

Engenheira Civil, UEM, Maringá, Brasil, gaabrielabento@gmail.com

Juliana Maria de Souza

Doutoranda, UEM, Maringá, Brasil, jmaria.eng@gmail.com

Juliana Azoia Lukiantchuki

Professora Adjunta, UEM, Maringá, Brasil, jalukiantchuki@uem.br

RESUMO: A contaminação ambiental por hidrocarbonetos de petróleo é um problema crescente que afeta diretamente as propriedades geotécnicas dos solos. Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do teor óleo diesel (2%, 4%, 6% e 8%) na resistência a compressão não confinada de um solo laterítico arenoso. Para isso foram realizados ensaios de resistência à compressão não confinada cujos resultados apontaram que, nos primeiros sete dias de cura, a resistência apresentou uma redução de até 21% em relação ao solo natural. Aos 28 dias, essa redução se intensificou, atingindo 41% nas amostras com 6% de óleo diesel, evidenciando o impacto da presença do contaminante. Após 56 dias, algumas amostras demonstraram recuperação parcial da resistência, apresentando uma redução de até 36%, possivelmente devido à evaporação gradual do contaminante ao longo do tempo. Dessa forma, verificou-se que a presença do óleo diesel compromete diretamente o desempenho do solo, reforçando a necessidade de estudos em áreas contaminadas para compreender o comportamento geotécnico do solo contaminado por hidrocarbonetos. Essa compreensão é essencial para o desenvolvimento de técnicas de remediação que ajudem a prevenir problemas estruturais e ambientais, garantindo maior segurança e eficiência em projetos geotécnicos em áreas sujeitas à contaminação.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo Diesel, Contaminação, Solo Laterítico Arenoso, Resistência à Compressão Não Confinada.

ABSTRACT: Environmental contamination by petroleum hydrocarbons is a growing concern that directly affects the geotechnical properties of soils. This study aims to evaluate the influence of diesel oil content (2%, 4%, 6%, and 8%) on the unconfined compressive strength of a sandy lateritic soil. Unconfined compression tests were conducted, and the results showed that the strength decreased by up to 21% during the first seven days of curing compared to the natural soil. After 28 days, this reduction became more pronounced, reaching 41% in samples with 6% diesel oil, highlighting the impact of the contaminant. After 56 days, some samples exhibited partial strength recovery, with a 36% reduction, possibly due to the gradual evaporation of the contaminant over time. These findings suggest that the presence of diesel oil significantly compromises soil performance, underscoring the need for studies in contaminated areas to understand the geotechnical behavior of hydrocarbon-impacted soils. Such understanding is essential for developing remediation techniques that help prevent structural and environmental issues, ensuring greater safety and efficiency in geotechnical projects in areas subject to contamination.

KEYWORDS: Diesel Oil, Contamination, Sandy Lateritic Soil, Unconfined Compressive Strength.

1 INTRODUÇÃO

A contaminação do solo por hidrocarbonetos pode originar-se de diversas fontes, incluindo derramamentos acidentais durante transporte e descarte, vazamentos em tanques de armazenamento e tubulações, ou tomadas clandestinas de combustível. A primeira parte a ser contaminada é a zona não saturada (aerada) do solo, onde as fundações da infraestrutura são frequentemente assentadas. Posteriormente, os hidrocarbonetos podem permear até a zona do lençol freático, contaminando a zona saturada e potencialmente afetando fundações profundas, além de contaminar águas subterrâneas que podem transportar os poluentes para áreas circunvizinhas (Hernández-Mendoza; García Ramírez; Chávez Alegria, 2021).

A contaminação do solo por diferentes hidrocarbonetos tem se expandido rapidamente em escala global. Como resultado, observa-se um aumento significativo no número de locais contaminados tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento. Independentemente do momento em que ocorre a contaminação, seja antes ou após a construção de infraestruturas, as alterações nas propriedades geotécnicas do solo podem comprometer a integridade das estruturas e representar riscos aos usuários (Hernández-Mendoza; García Ramírez; Chávez Alegria, 2021).

Estudos recentes têm demonstrado que a presença de contaminantes como o óleo diesel provoca alterações significativas nas propriedades físicas e mecânicas dos solos. Pesquisas indicam que o aumento na porcentagem de contaminantes leva à diminuição do peso específico seco máximo das amostras, sendo essa redução mais acentuada em solos contaminados com óleo diesel devido à presença de hidrocarbonetos mais pesados (Fazeli et al., 2021). Em relação à resistência à compressão não confinada (RCS), diversos estudos têm documentado reduções expressivas nesse parâmetro. Mendes, Correia e Portelinha (2019) observaram uma queda de aproximadamente 19% na resistência à compressão uniaxial de um solo laterítico contaminado com óleo diesel, enquanto Correia et al. (2020) relataram reduções de até 70% em casos mais severos. Chen et al. (2017) verificaram que a RCS diminui com o aumento do tempo de cura, especialmente em teores elevados de diesel, nos quais o contaminante já é suficiente para degradar rapidamente as propriedades do solo. Por outro lado, em teores mais baixos, a redução ocorre de forma gradual, exigindo mais tempo para interação com as partículas do solo. Resultados similares foram reportados por Karabash et al. (2023), que observaram redução de até 3,5 vezes na RCS com 17% de diesel, e por Jayakrishnan, Gracious e Shaju (2021), que identificaram diminuição de até 45,2% com o aumento do contaminante.

A partir do que foi exposto, o objetivo desse trabalho é investigar o comportamento geotécnico de um solo laterítico contaminado com óleo diesel, nos teores de 2%, 4%, 6% e 8% em relação a massa seca total de solo. Para isso foram realizados ensaios de caracterização geotécnica e de resistência à compressão não confinada, nos períodos de 7, 28, e 56 dias de cura.

2 METODOLOGIA

2.1 Programa experimental

O programa experimental compreendeu a caracterização geotécnica do solo com os ensaios de análise granulométrica, massa específica, Mini-MCV, Fluorescência de raio X (FRX) e Difractometria de raio X (DRX), limites de Atterberg e curva de compactação. Para o óleo diesel foram realizados os ensaios de aspecto visual, ponto de fulgor, massa específica, teor de água máximo, teor de enxofre, teor de biodiesel e viscosidade cinemática, bem como a caracterização mecânica por meio de ensaios de resistência à compressão não confinada (RCS).

Os teores de óleo diesel adotados foram 2%, 4%, 6% e 8% em relação a massa seca de solo. A escolha desses teores foi fundamentada em estudos anteriores, como os de Silva e Correia (2018); Portelinha et al. (2021); Safehian; Rajabi; Ghasemzadeh (2018), além de considerações sobre cenários reais de contaminação por óleo combustível. Em investigação conduzida por Shah et al. (2003) na Índia, verificaram-se concentrações de óleo variando entre 7% e 10% em peso nos solos afetados por vazamentos ou derramamentos. De forma similar, Daciolo, Correia e Portelinha (2017) indicam valores de contaminação entre 8% e 12% como representativos de situações de contaminação em campo.

2.2 Materiais Utilizados

2.2.1 Solo

O solo utilizado neste estudo foi coletado no município de Mandaguaçu, noroeste do Paraná. Segundo o Sistema Unificado de Classificação (SUCS), o solo é classificado como areia argilosa (SC), enquanto pela AASHTO pertence ao grupo A-2-4 (areia siltosa ou argilosa). Apresenta massa específica de $2,63 \text{ g/cm}^3$, valor típico de solos com predominância de quartzo, o que foi confirmado pelos resultados dos ensaios de FRX e DRX, que identificaram a presença majoritária de SiO_2 (59,7%), Al_2O_3 (28,8%) e Fe_2O_3 (8,9%), além de minerais como caulinita, haloisita, quartzo, magnetita e óxidos de ferro, característicos de solos lateríticos derivados de rochas basálticas.

O solo foi classificado como Laterítico Arenoso (LA') pelo método Mini-MCV e apresentou comportamento ácido, com pH de 4,24 (KCl) e 4,89 (H_2O). Os ensaios de limites de Atterberg indicaram plasticidade média ($\text{LL} = 25$, $\text{LP} = 15$), coerente com a classificação de Jenkins e a carta de Casagrande. Os baixos valores de matéria orgânica (0,26%) e capacidade de troca catiônica ($3,7 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) também refletem a presença de caulinita e conferem baixa reatividade ao solo. Essas são características típicas dos solos lateríticos da região estudada e também são encontradas nos trabalhos de Rios (2022), Ladeira et al. (2019), e Ferreira et al. (2018), que também trabalharam com o solo do município de Mandaguaçu-PR.

2.2.1 Óleo Diesel

O contaminante utilizado nas análises foi o óleo diesel S500, um combustível disponível comercialmente, que foi objeto de estudo das pesquisas de Silva e Correia (2018), Mendes, Correia e Portelinha (2019), Correia et al. (2020) e Portelinha et al. (2021), em que avaliaram as propriedades geotécnicas do solo sob o efeito da contaminação. As características do óleo diesel foram fornecidas pelo comerciante, com o relatório de análises emitido pela Universidade Estadual de Maringá – UEM, e complementadas por ensaios específicos realizados pelo Laboratório de Análises de Combustíveis Automotivos – LACAUT (UFPR).

O óleo diesel utilizado na presente pesquisa apresenta um aspecto visual límpido e isento de impurezas, cor avermelhada, ponto de fulgor $43,5^\circ$, massa específica a 20°C de $844,3 \text{ kg/m}^3$, teor de água máximo igual a 171 mg/kg , teor de enxofre de 311 mg/kg , teor de biodiesel igual a 13,6%, e viscosidade cinemática a 40°C de $2,903 \text{ mm}^2/\text{s}$.

2.3 Preparo das amostras

O preparo das amostras de solo contaminadas com óleo diesel seguiu uma sequência padronizada. Inicialmente, o solo foi seco à temperatura ambiente em bandejas por, no mínimo, 48 horas. Em seguida, passou por secagem em estufa a 105°C , por pelo menos 48 horas, com o objetivo de eliminar a umidade presente, conforme procedimento descrito por Portelinha et al. (2021). Após a secagem, o material foi peneirado na malha #2,0 mm para garantir maior homogeneidade na mistura com o contaminante.

A contaminação foi realizada por meio da adição do óleo diesel ao solo seco dentro de sacos plásticos, seguindo recomendação da literatura para evitar perdas por evaporação (Portelinha et al., 2021). Os sacos foram devidamente selados e agitados até alcançar uma distribuição uniforme do óleo. As amostras foram então mantidas em repouso por 72 horas em ambiente com temperatura e umidade controladas, de forma a proporcionar uma melhor homogeneização da contaminação antes da realização dos ensaios.

Os corpos de prova para o ensaio de RCS foram moldados em três camadas, com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, sendo posteriormente envolvidos com filme plástico impermeável e armazenados em câmara úmida com umidade relativa superior a 95% e temperatura controlada entre $21,0^\circ\text{C}$ e $25,0^\circ\text{C}$. Os períodos de cura definidos para os ensaios foram de 7, 28 e 56 dias, sendo que apenas as amostras de solo natural foram avaliadas no tempo de cura de 7 dias, uma vez que não apresenta variações na resistência com o aumento do tempo de cura. A Tabela 1 apresenta a proporção de materiais utilizados para cada mistura.



Tabela 1. Proporção de materiais utilizados

Materiais	SN (%)	OD (%)
SN	100	-
SN + 2% OD	100	2
SN + 4% OD	100	4
SN + 6% OD	100	6
SN + 8% OD	100	8

Onde: SN é solo natural; OD é óleo diesel

3 RESULTADOS

3.1 Curvas de Compactação

As curvas de compactação na energia normal para as amostras de solo e óleo diesel são apresentadas na Figura 1(a). Nesse ensaio se optou pela compactação sem reuso de material devido à dificuldade de homogeneização do contaminante e sendo as amostras preparadas conforme anteriormente especificado.

Com relação aos parâmetros de compactação, se observa a tendência de diminuição do peso específico seco máximo e do teor de fluidos ótimo com o aumento do teor de óleo diesel (Figura 1.b). A redução desses parâmetros em solos contaminados também foi constatada por Khamsehchiyan, Charkhabi e Tajik (2006) e Rahman *et al.* (2010). Esse efeito se deve ao peso específico do óleo diesel (8,44 kN/m³) que, por substituir uma parcela de água no teor de fluidos, ocasiona uma redução da massa específica da amostra. Portanto, a substituição das partículas do solo e da água por materiais mais leves, como o óleo diesel, diminuiu o peso específico seco máximo dos solos contaminados (Ahmad *et al.*, 2020).

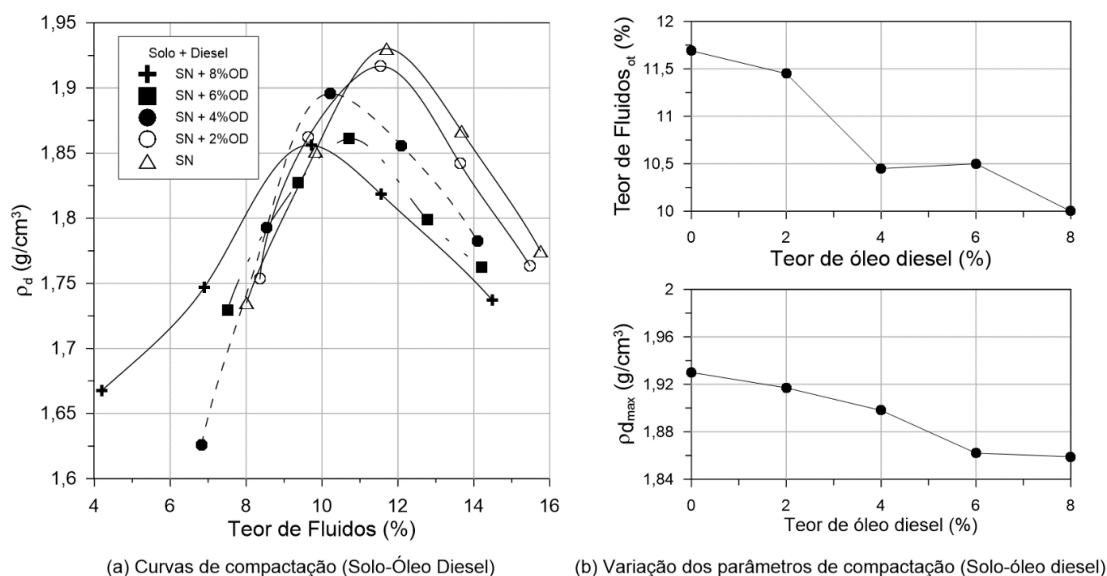


Figura 1: Curvas de compactação para as misturas solo-óleo diesel

Durante a execução do ensaio verificou-se que as amostras de SN + 2% OD apresentaram a formação de torrões (Figura 2a) para menores teores de umidade, resultando em um material de difícil homogeneização e corpos de prova com camadas heterogêneas (Figura 2b). De acordo com as análises granulométricas feitas por Daka (2015), a contaminação com óleo diesel causa a redução das partículas finas do solo e a formação de torrões.

Para as amostras com 8% de óleo diesel houve dificuldade na incorporação de água à massa de solo (Figura 2c). Após a compactação, foram observadas fissuras no corpo de prova e o extravasamento do contaminante conforme visto na Figura 2(d).

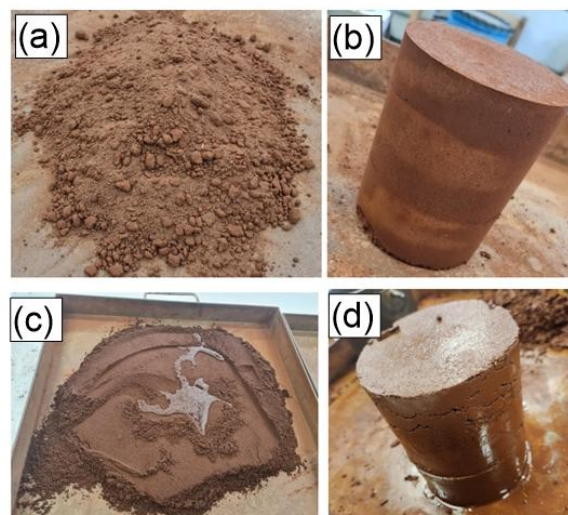


Figura 2: Ensaio de compactação

3.2 Resistência à compressão não confinada

Nos ensaios de resistência à compressão não confinada (RCS), todos os corpos de prova foram moldados com peso específico seco de $1,859 \text{ g/cm}^3$ e teor de fluidos de 10%, correspondentes ao parâmetros de compactação obtidos para a amostra com 8% de óleo diesel. Essa padronização visou avaliar a influência da adição de óleo diesel na amostra eliminando a influência de variações de densidade e umidade nos resultados, conforme procedimento adotado por Karabash et al. (2023).

A partir dessa abordagem, verificou-se que a presença de óleo diesel reduziu significativamente a resistência do solo em todos os períodos de cura (7, 28 e 56 dias). A Figura 3(a) apresenta os valores médios de RCS para cada teor de óleo, e a Figura 3(b) mostra os valores normalizados (N_{RCS}) tomando como base a mistura de solo natural. As barras de erro da Figura 3(a) representam o erro padrão da média.

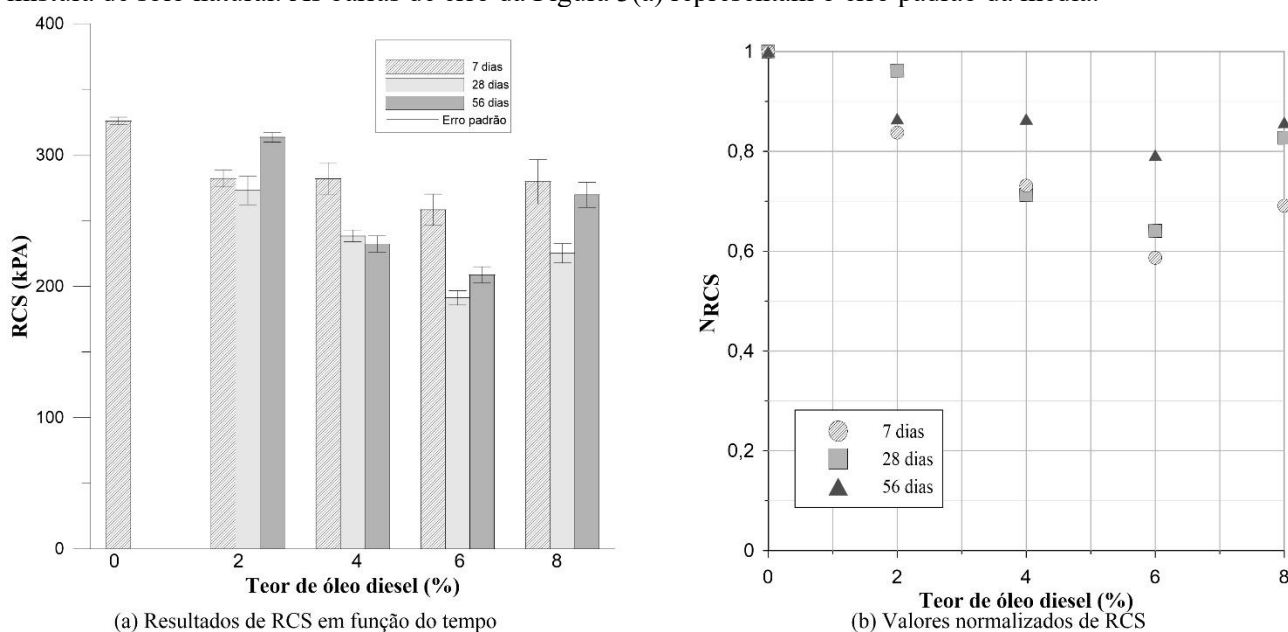


Figura 3: Resultados de RCS

Para as amostras com 7 dias de cura, as reduções na resistência variaram, entre 13% e 21%, já aos 28 dias, a contaminação intensificou seus efeitos, resultando na maior redução de resistência (41%) para a amostra com 6% de óleo diesel. Resultados comparáveis são encontrados em Chen et al. (2017). Aos 56 dias,

2025

observou-se uma recuperação parcial da RCS para as amostras com 2% e 8% de óleo diesel, comportamento que pode estar associado à volatilização das frações mais leves do contaminante ao longo do tempo. Neste período, as reduções na RCS em relação ao solo não contaminado foram de 4%, 29%, 36% e 17% para as amostras com 2%, 4%, 6% e 8% de óleo diesel, respectivamente.

Como já abordado, a amostra com 8% de óleo diesel apresentou uma redução de resistência menor do que a de 6%. Este fenômeno pode ser explicado pela metodologia de moldagem: todas as amostras foram compactadas utilizando o peso específico seco máximo e o teor de fluidos ótimo determinados especificamente para a mistura com 8% de óleo diesel. Essa padronização dos parâmetros de compactação pode ter conferido uma vantagem à amostra de 8% OD, mitigando sua perda de resistência. Adicionalmente, a expulsão de óleo durante a moldagem dos corpos de prova com 8% de óleo (conforme ilustrado na Figura 4) pode ter resultado em um teor efetivo de contaminante inferior ao inicialmente adicionado.



Figura 4: Expulsão de óleo durante processo de moldagem

A análise dos índices físicos (Figura 5(a) e 5(b)) revela uma relação inversamente proporcional entre o teor de óleo diesel (OD) e os valores de índice de vazios (e) e porosidade (n). Este comportamento é uma consequência direta da maior eficiência de compactação observada nas amostras com maiores teores de OD, que alcançaram um grau de compactação (GC) superior. Além disso, o grau de saturação (S_r) aumentou com o teor de OD, comportamento que é diretamente explicado a partir das curvas de compactação. As amostras com menores teores de óleo diesel foram moldadas no ramo seco da curva de compactação, sendo dessa forma menos saturadas.

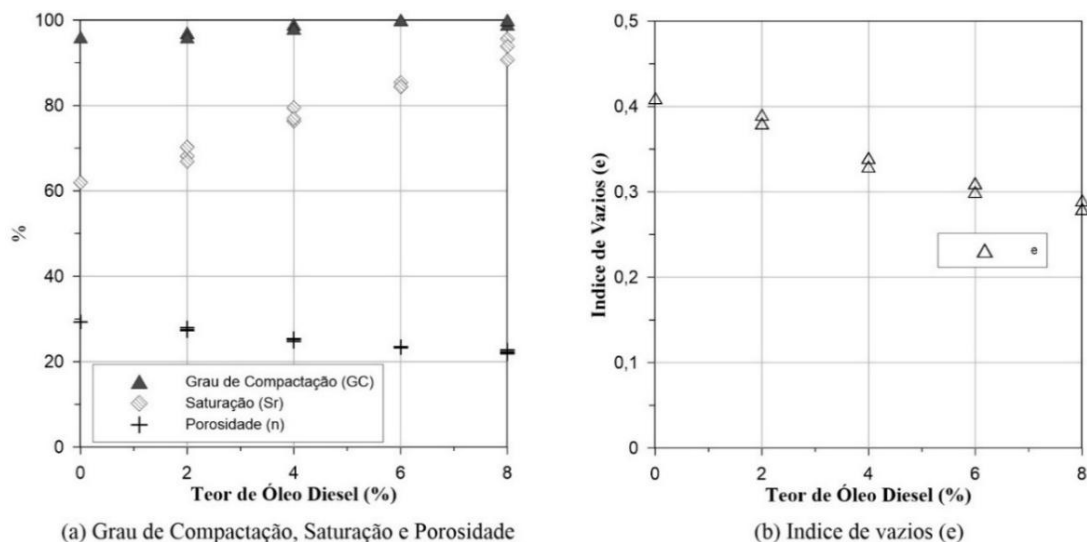


Figura 5: Análise índices físicos

4 CONCLUSÕES

O presente estudo avaliou o impacto da contaminação por óleo diesel S500 nas propriedades de um solo laterítico arenoso. Os resultados de compactação apontam para uma tendência de diminuição do peso específico seco máximo e do teor de fluidos ótimo com o aumento do teor de óleo diesel. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão não confinada (RCS) apontam para uma diminuição da resistência a compressão não confinada após o acréscimo do óleo, demonstrando o efeito nocivo do contaminante no solo.

Após 7 dias de cura, observou-se uma redução de até 21% na resistência das amostras contaminadas em relação ao solo natural. O impacto negativo se intensificou com o tempo, atingindo uma perda máxima de resistência de 41% aos 28 dias para o teor de 6% de óleo. Essa perda de resistência está diretamente associada às alterações na microestrutura do solo, com a formação de uma matriz com maior índice de vazios e alterações no grau de saturação, que comprometem as ligações interpartículas e a capacidade do material de mobilizar atrito. Ao final de 56 dias de cura, foi observada uma recuperação parcial da resistência em algumas amostras, sugerindo a ocorrência de processos como a evaporação de compostos voláteis do diesel.

Esses resultados ressaltam a importância de considerar o impacto de contaminantes como o óleo diesel nas propriedades geotécnicas de solos, especialmente em áreas sujeitas a vazamentos. A pesquisa contribui para a compreensão dos riscos associados à contaminação por hidrocarbonetos e destaca a necessidade de mais estudos para explorar estratégias de mitigação e reabilitação de solos impactados.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá (UEM), pelo suporte institucional e pela disponibilização da infraestrutura laboratorial necessária à execução desta pesquisa. Aos técnicos, professores e colaboradores, pelo suporte prestado durante a realização da presente pesquisa. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro essencial ao desenvolvimento do trabalho. E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste estudo, registro meus sinceros agradecimentos

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, S. et al. (2020). Stabilization and solidification of oil-contaminated sandy soil using Portland cement and supplementary cementitious materials. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Reston, v. 32, n. 8, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003169](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003169).
- Chen, H. et al. (2017). Experimental study of the stabilization effect of cement on diesel-contaminated soil. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, v. 50, n. 2, p. 199–205, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1144/qjagh2016-115>.
- Correia, N.d. et al. Lime treatment of a diesel-contaminated coarse-grained soil for reuse in geotechnical applications. *Geo-Engineering*, vol.11, n. 8, 2020. DOI: 10.1186/s40703-020-00115-2
- Daciolo, L. V. P.; Correia, N. S.; Portelinha, F. H. M. (2017). Efeito da contaminação de óleo diesel nos parâmetros de compressibilidade de um solo laterítico. In: *I Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana*, 1. São Carlos, 2017 Anais [...] São Carlos: SINGEUB, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325973670>. Acesso em: 10 out. 2023.
- Daka, M. R. Geotechnical properties of oil contaminated soil. Tese (MPhil em Engenharia e Ciências Físicas) – Universidade de Manchester, Manchester, 213 f. 2015. Disponível em: https://pure.manchester.ac.uk/ws/portalfiles/portal/54568047/FULL_TEXT.PDF. Acesso em: 10 out 2023.
- Fazeli, G. et al. (2021). Bearing capacity and geotechnical properties of sandy soil substrate contaminated with oil derivatives (diesel fuel and kerosene). *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, v. 54, n. 4, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1144/qjagh2020-134>
- Ferreira, J. W. S. et al. (2018). Aplicabilidade de solo arenoso compactado e melhorado com cimento em pavimentos flexíveis. In: *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica* –



- Geotecnia e Desenvolvimento Urbano*, Salvador: COBRAMSEG, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/330686153>. Acesso em: 10 out 2023.
- Hernández-Mendoza, C. E.; Ramírez, P. G.; Alegría, O. C. (2021). Geotechnical evaluation of diesel contaminated clayey soil. *Applied Water Sciences*, v. 11, n. 14, jul. 2021. <https://doi.org/10.3390/app11146451>.
- Jayakrishnan, V.; Gracious, A.; Shaju, A. C. (2021). Effect of fly ash on geotechnical properties of oil-contaminated soil. In: Singh, R. M.; Sudheer, K. P.; Kurian, B. (Eds.) *Advances in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 83. Singapura: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-5644-9_15.
- Karabash, Z. et al. (2023). Geotechnical properties of clay soil contaminated with different types of oil. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 41, n. 4, p. 2677–2689, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-023-02420-w>.
- Khamehchiyan, M; Charkhabi, A. H; Tajik, M. Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils. *Engineering Geology*, v. 89, n.3-4, p. 220–229. 2006. DOI: 10.1016/j.enggeo.2006.10.
- Ladeira, A. T. et al. (2019). Caracterização física, química e mineralógica de solos típicos do Noroeste do Paraná para fins de aplicação prática em obras geotécnicas. In: *XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul*, Joinville. Anais [...] Joinville: ABMS. Disponível em: <https://conferencias.ufsc.br/index.php/geosul2019/2019geosul/paper/viewFile/435/461>. Acesso em: 08 set 2024.
- Mendes, I. S.; Correia, N. de S.; Portelinha, F. H. M. (2019). Propriedades geotécnicas de um solo laterítico contaminado com óleo diesel e estabilizado com cal. In: *IX Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental*, São Carlos. Anais [...] São Carlos: ABMS, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-5644-9_15. Acesso em: 10 out 2023.
- Portelinha, F. H. M. et al. (2021). Geotechnical properties and microstructure of a diesel contaminated lateritic soil treated with lime. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, v. 30, n.7, p. 838–861, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/15320383.2021.1893648>.
- Rahman, Z. A. et al. 2010. Influence of oil contamination on geotechnical properties of basaltic residual soil. *American Journal of Applied Sciences*, v. 7, n. 7, p. 954-961, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3844/ajassp.2010.954.961>.
- Rios, A. V. do N. G. (2022). Uso potencial da etringita obtida no tratamento de efluentes industriais em aplicações geotécnicas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2022. Disponível em: <http://www.pcv.uem.br/documentos/dissertacao-de-mestrado/angelica-vinci-dissertacao.pdf>. Acesso em: 10 out 2023.
- Safiehian, H.; Rajabi, A. M.; Ghasemzadeh, H. (2018). Effect of diesel-contamination on geotechnical properties of illite soil. *Engineering Geology*, v. 241, p. 55–63, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.04.020>.
- Shah, S. J. et al. (2003). Stabilization of fuel oil contaminated soil – A case study. *Geotechnical and Geological Engineering*, v. 21, n. 4, p. 415–427, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:GEGE.0000006052.61830.1a>
- Silva, J. W. B. da; Correia, N. de S. (2018). Efeito da contaminação por combustíveis nos parâmetros de compactação de solos tropicais – Uma análise comparativa dos resultados com a Microscopia Eletrônica de Varredura. In: *XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – Geotecnia e Desenvolvimento Urbano*, Salvador. Anais [...] Salvador: COBRAMSEG, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327272868>. Acesso em: 10 out. 2023.