XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/99

INFLUÊNCIA DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR E PÓ DE VIDRO NOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM DIESEL

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.brs

RESUMO: A contaminação do solo por óleo diesel provoca alterações significativas em suas propriedades físicas e mecânicas, em função da presença de hidrocarbonetos. Neste contexto, o presente estudo avaliou o comportamento de um solo laterítico arenoso contaminado com óleo diesel e tratado com resíduos industriais. Foram adotados teores de contaminação de 2% e 8% de óleo diesel, em relação à massa seca total, e teores de 10%, 20% e 30% de cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) e pó de vidro (PDV) como materiais de tratamento. O solo, o contaminante e os resíduos foram caracterizados por ensaios geotécnicos, químicos e mineralógicos. As curvas de compactação indicaram que o aumento do teor de óleo diesel promoveu a redução da massa específica seca máxima e do teor de fluidos ótimo, já para as amostras tratadas com CBCA, o aumento do teor de resíduo resultou em elevação do teor de fluidos ótimo e redução da massa específica seca máxima, para ambos teores de diesel. As amostras tratadas com PDV, por sua vez, apresentaram uma redução da massa específica seca máxima, enquanto o teor de fluidos ótimo manteve-se aproximadamente constante. Esse comportamento foi atribuído às características físicas dos materiais empregados.

PALAVRAS-CHAVE: Contaminação, óleo diesel, Resíduos, pó de vidro, cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

ABSTRACT: Soil contamination by diesel oil causes significant changes in its physical and mechanical properties due to the presence of hydrocarbons. In this context, the present study evaluated the behavior of a sandy lateritic soil contaminated with diesel oil and treated with industrial residues. Contamination levels of 2% and 8% diesel oil were adopted, relative to the total dry mass, and contents of 10%, 20%, and 30% sugarcane bagasse ash (SCBA) and glass powder (GP) were used as treatment materials. The soil, contaminant, and residues were characterized through geotechnical, chemical, and mineralogical tests. The compaction curves indicated that increasing the diesel oil content led to a reduction in maximum dry density and optimum fluid content. For the samples treated with SCBA, increasing the residue content resulted in an increase in optimum fluid content and a reduction in maximum dry density for both diesel contents. The samples treated with GP, in turn, showed a reduction in maximum dry density, while the optimum fluid content remained approximately constant. This behavior was attributed to the physical characteristics of the materials used.

KEYWORDS: Contamination, diesel oil, Waste materials, Glass powder, Sugarcane bagasse ash.

1 INTRODUÇÃO

A contaminação do solo por óleo diesel tem sido apontada como um fator responsável por alterações significativas em suas propriedades físicas e mecânicas. Em relação à compactação, Fazeli et al. (2021) indicam que o aumento do teor de contaminantes promove a redução da massa específica seca máxima, sendo esse efeito mais acentuado em solos contaminados com óleo diesel, em função da presença de hidrocarbonetos mais pesados. Esse comportamento evidencia a necessidade de investigações voltadas à compreensão do desempenho de solos contaminados e às possibilidades de mitigação desses efeitos.

Diante da necessidade de remediar áreas contaminadas, Tavares (2013) destaca que as técnicas de remediação de solos têm como objetivo reduzir os níveis de contaminantes até limites considerados seguros, de modo a impedir ou dificultar a disseminação de substâncias nocivas ao meio ambiente.

Paralelamente, a gestão de resíduos industriais constitui um desafio ambiental crescente, em razão dos grandes volumes gerados e da disposição inadequada desses materiais. No setor vidreiro, a produção nacional atingiu cerca de 59 milhões de m² em 2021, sendo aproximadamente 80% destinados à construção civil (Abravidro, 2022), o que indica um elevado potencial de geração de resíduos associados a essa atividade. De modo semelhante, a indústria sucroenergética produz cerca de 6 kg de cinza por tonelada de cana processada (Altoé, 2012), totalizando aproximadamente 3,4 milhões de toneladas na safra 2022/2023 (CONAB, 2022).

Nesse cenário, o reaproveitamento desses resíduos tem sido amplamente investigado devido aos benefícios técnicos observados. A incorporação do pó de vidro pode aumentar a coesão, o ângulo de atrito, a densidade seca, a resistência à compressão simples e os valores de CBR, além de melhorar o comportamento ao cisalhamento. Também são observadas reduções nos limites de consistência (Olufowobi et al., 2014; Benny et al., 2017; Blayi et al., 2020; Ibrahim, Mawlood e Alshkan, 2019).

De forma semelhante, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar, classificada como resíduo inerte e com propriedades pozolânicas, pode atuar como material de preenchimento e agente pozolânico, promovendo redução da plasticidade, alterações nos parâmetros de compactação e aumento da resistência. Também tem sido aplicada na estabilização/solidificação de solos contaminados, reduzindo a lixiviação de metais como chumbo e arsênio (Faria, Gurgel e Holanda, 2012; Bessa, 2011; Matos et al., 2021; Baracho e Correia, 2021; Tajudin et al., 2015; Azhar et al., 2016).

Dessa forma, este estudo avaliou a aplicação da CBCA e do PDV no tratamento de um solo laterítico arenoso contaminado com óleo diesel, considerando teores de contaminação de 2% e 8% e adições de 10%, 20% e 30% dos resíduos, com análise dos parâmetros de compactação.

2 MATERIAIS E METODOS

2.1 Programa Experimental

O programa experimental compreendeu a caracterização geotécnica do solo com os ensaios de análise granulométrica, massa específica dos sólidos, Mini-MCV, Fluorescência de raio X (FRX), Difratometria de raio X (DRX), e limites de Atterberg.

As características do óleo diesel foram fornecidas pelo comerciante, a partir do 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).

A CBCA e o PDV foram caracterizados por meio de ensaios de atividade pozolânica, massa específica dos sólidos e análises químicas e mineralógicas utilizando FRX e DRX.

Os ensaios de compactação foram realizados na energia normal (Proctor normal) utilizando-se o cilindro metálico e o soquete pequenos e seguindo as orientações da NBR 7182 (ABNT, 2016). Optou-se por não reutilizar o material, sobretudo porque a adição de óleo diesel dificulta a garantia de obtenção de uma amostra homogênea. A amostra de solo utilizada foi seca ao ar até a umidade higroscópica e passada integralmente na peneira de 4,8 mm.

2.2 Materiais Utilizados

2.2.1 Solo

O solo utilizado neste estudo foi coletado no município de Mandaguaçu, no estado do Paraná. É classificado como areia argilosa (SC), segundo o Sistema Unificado de Classificação (SUCS), já pela AASHTO pertence ao grupo A-2-4 (pedregulhos ou areais siltosos ou argilosos, com bom comportamento de subleito). Possui massa específica de 2,63 g/cm³, valor típico de solos com predominância de quartzo. Os ensaios de FRX indicaram elevados teores de SiO_2 (59,7%), Al_2O_3 (28,8%) e Fe_2O_3 (8,9%), e o DRX apontou para a presença de minerais como quartzo, caulinita, haloisita, magnetita e óxidos de ferro, característicos de solos lateríticos.

O solo foi classificado como Laterítico Arenoso (LA') pelo método Mini-MCV. Os resultados dos ensaios de limites de Atterberg (LL=25 e LP=15) indicaram plasticidade média, coerente com a classificação de Jenkins e a carta de Casagrande.

2.2.2 Óleo Diesel

Os teores de óleo diesel adotados neste estudo foram de 2% e 8% em relação à massa seca do solo. A definição desses percentuais baseou-se em pesquisas anteriores que investigaram a contaminação de solos por derivados de petróleo (Portelinha et al., 2021).

O contaminante empregado nas análises foi o óleo diesel S500, combustível de uso comercial amplamente utilizado em estudos geotécnicos envolvendo solos contaminados (Portelinha et al., 2021). O óleo diesel apresenta um aspecto visual límpido e isento de impurezas, cor avermelhada, ponto de fulgor 43,5°, massa específica a 20°C de 844,3 kg/m³, 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 mm²/s.

2.2.3 CBCA

As amostras de CBCA utilizadas neste estudo foram fornecidas pela Usina Renuka Vale do Ivaí S/A, localizada no município de São Pedro do Ivaí, no estado do Paraná. Optou-se pela utilização da cinza leve, que foi coletada em sacos plásticos, seca em temperatura ambiente e posteriormente peneirada na malha 0,075mm (peneira n° 200) para retirada de partículas provenientes da combustão incompleta e homogeneização do material.

A massa específica da CBCA foi determinada de acordo com a NBR 6508 (ABNT, 2014), resultando em um valor de 2,61 g/cm³. A caracterização mineralógica, realizada por DRX, indicou a presença reduzida de fase amorfa e predominância de fases cristalinas, com identificação de hematita (Fe_2O_3), quartzo (SiO_2) e corundum (Al_2O_3), em concordância com a literatura (Malacarne, 2021).

A atividade pozolânica da CBCA apresentou valor de 498,96 ± 18,48 mg de $Ca(OH)_2$/g de amostra, considerado relativamente baixo quando comparado a materiais pozolânicos tradicionais, como sílica ativa, sílica da casca de arroz e metacaulim (Filho et al., 2017). Entretanto, a análise por FRX confirmou o caráter pozolânico da cinza, uma vez que a soma dos óxidos SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3 ultrapassa 70%, critério adotado para a classificação de materiais pozolânicos (Castro, 2015; ABNT, 2014), sendo o silício (35,785%), o alumínio (28,406%) e o ferro (25,838%) os principais constituintes.

2.2.4 PDV

O PDV utilizado neste estudo foi coletado na empresa Cristal Sete, localizada no município de Apucarana, estado do Paraná. Devido à sua consistência pastosa, o material foi inicialmente espalhado sobre lona e submetido à secagem natural por exposição à luz solar até completa desidratação, procedimento necessário para possibilitar sua adequada manipulação como indica Radke (2022).

Após a secagem, o PDV foi desagregado em moinho de barras, e posteriormente peneirado em peneira de malha 0,3mm (peneira 50), visando à obtenção de partículas mais finas e homogêneas.

A massa específica dos sólidos do PDV, determinada conforme a NBR 6508 (ABNT, 1984), apresentou valor de 2,57 g/cm³. Já a análise por DRX evidenciou a presença de um halo amorfo na faixa de 15° a 28°, indicando a ausência de fases cristalinas bem definidas. Esse comportamento confirma a natureza predominantemente amorfa do resíduo, em concordância com os resultados reportados por Rotta (2022).

A atividade pozolânica do pó de vidro apresentou valor de 249,05 mg de $Ca(OH)_2$/g de amostra, considerado relativamente baixo quando comparado a materiais pozolânicos de elevada reatividade. Entretanto, a análise por Fluorescência de Raios X (FRX) confirmou o caráter pozolânico do resíduo, uma vez que a soma dos óxidos SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3 atende aos critérios estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 2014) para a classificação de materiais pozolânicos. Observa-se a predominância de silício (75,49%), cálcio (15,136%) e ferro (5,66%).

2.2.4 Misturas solo - óleo diesel - resíduos

Optou-se por fixar os teores de 2% e 8% de óleo diesel, de forma a representar duas condições distintas de contaminação do solo. Para o tratamento do solo contaminado, foram adotados teores de 10%, 20% e 30% de resíduo, considerando tanto a cinza do bagaço da cana-de-açúcar quanto o pó de vidro, em relação à massa seca total da amostra. A tabela 1 apresenta a porcentagem de cada material utilizado.

Tabela 1. Matrizes a serem estudadas

Mistura	Solo seco (%)	Óleo diesel (%)	CBCA ou PDV (%)
SN + 2%OD	100	2	-
SN + 8%OD	100	8	-
$SO_2Resíduo_{10}$	90	2	10
$SO_2Resíduo_{20}$	80	2	20
$SO_2Resíduo_{30}$	70	2	30
$SO_8Resíduo_{10}$	90	8	10
$SO_8Resíduo_{20}$	80	8	20
$SO_8Resíduo_{30}$	70	8	30

Na composição das misturas, a contaminação do solo com óleo diesel foi realizada inicialmente, considerando o teor de óleo em relação à massa seca total da amostra, ou seja, à soma das massas de solo e resíduo. Apenas após essa etapa procedeu-se à adição da CBCA ou do PDV, seguida de homogeneização e repouso. O preparo das amostras de solo contaminadas com óleo diesel seguiu uma sequência padronizada, apresentada na Figura 1.

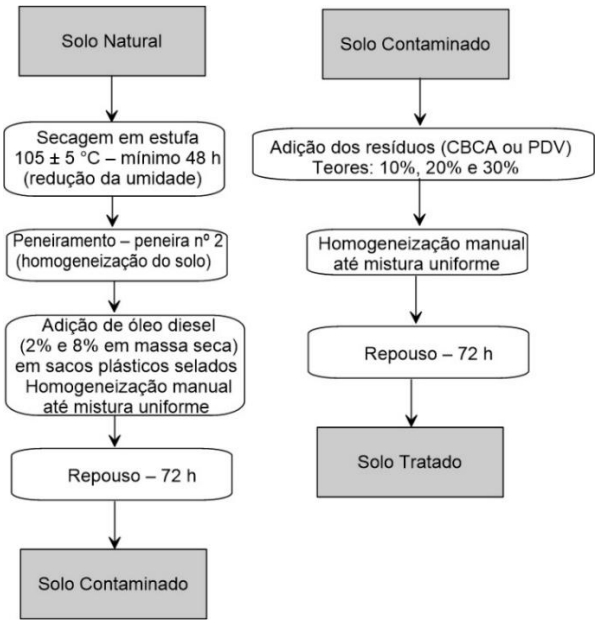
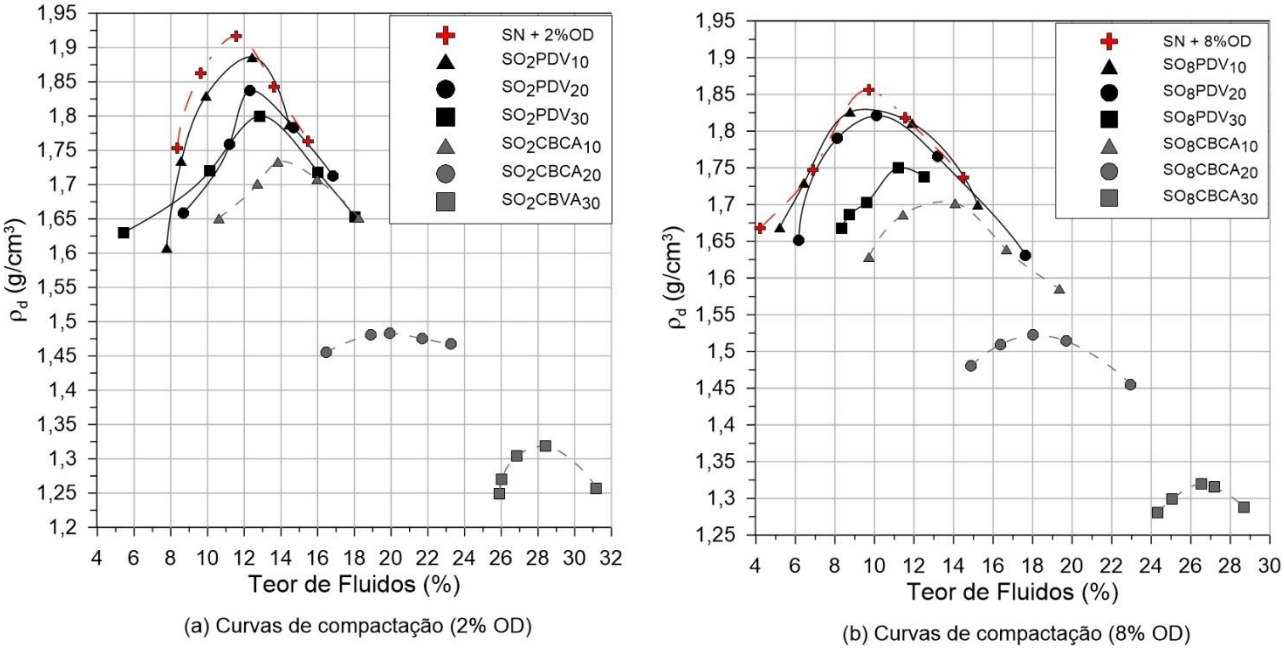


Figura 1. Processo de preparo das amostras

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 2 apresenta as curvas de compactação obtidas para o solo contaminado com 2%(a) e 8%(b) de óleo diesel, bem como a influência da incorporação de resíduos nos parâmetros de compactação do material. A análise das curvas permite avaliar a variação da massa específica seca e o teor de fluidos.



(a) Curvas de compactação (2% OD)

(b) Curvas de compactação (8% OD)

Figura 2. Curvas de compactação

3.1 Teor de fluidos ótimo

A Tabela 2 apresenta a variação do teor de fluido ótimo em função do tipo de resíduo, sua porcentagem e teor de óleo diesel. Observa-se que as misturas contendo CBCA apresentaram um aumento progressivo do teor de fluido ótimo com o incremento do teor de cinza de 10% para ambos teores de óleo, atingindo valor máximo de 28,0%. Em relação às misturas com PDV, os valores de teor de fluido ótimo mantiveram-se relativamente constantes nas amostras com 2% de óleo, variando entre 12,3% e 12,8%, enquanto nas amostras com 8% de óleo observaram-se valores inferiores, variando de 9,3% a 11,2%, com leve aumento associado ao maior teor de PDV. De modo geral, os resultados evidenciam que as misturas com CBCA apresentaram os maiores valores de teor de fluido ótimo, enquanto as misturas com PDV apresentaram variações mais restritas dentro da faixa analisada.

Tabela 2. Teores de fluido ótimo

Mistura	Teor de fluidos ótimo (%)	
SN + 2%OD	11,45	
SN + 8%OD	10,99	
	CBCA	PDV
$SO_2Resíduo_{10}$	13,90	12,4
$SO_2Resíduo_{20}$	19,70	12,3
$SO_2Resíduo_{30}$	28,00	12,8
$SO_8Resíduo_{10}$	13,5	9,3
$SO_8Resíduo_{20}$	18,1	10,15
$SO_8Resíduo_{30}$	26,7	11,2

O aumento mais expressivo do teor de fluidos ótimo observado nas misturas contendo CBCA pode estar relacionado às características físicas e químicas do resíduo, uma vez que sua menor finura, associada à maior atividade pozolânica, resulta em maior demanda de água para o adequado envolvimento das partículas e para

o desenvolvimento das reações de hidratação, conforme discutido por Portelinha et al. (2021). Em contraste, as amostras contendo pó de vidro apresentaram variações pouco significativas no teor de fluidos ótimo, comportamento atribuído à baixa capacidade de absorção de água desse material em comparação ao solo natural, o que reduz a quantidade de água necessária para atingir as condições ótimas de compactação (Al-Neami; Nsaif, 2024).

Além disso, observou-se uma redução no teor de fluidos ótimo com o aumento do conteúdo de óleo diesel, provavelmente em razão do efeito lubrificante do contaminante, concordando com os achados de Khamehchiyan, Charkhabi e Tajik (2006).

Salientamos, que neste trabalho optou-se por trabalhar com o termo teor de fluidos ótimos em vez de teor de umidade ótima uma vez que ambos (água e diesel) estavam sujeitos à evaporação, conforme adotado por Safehian, Rajabi e Ghasemzadeh (2018) e Portelinha et al. (2021).

3.2 Massa específica seca máxima (MDM)

A tabela 3 apresenta os resultados de MDM das amostras analisadas. Verificou-se que a adição da CBCA promoveu redução da MDM em todas as porcentagens avaliadas, independentemente do nível de contaminação por óleo diesel. Observou-se que esse efeito se intensificou com o aumento do teor de CBCA, sendo o caso mais crítico verificado para a dosagem de 30%. Nessa condição, os valores de MDM reduziram de 1,917 para 1,321 g/cm³ nas amostras contaminadas com 2% de óleo diesel e de 1,859 para 1,320 g/cm³ nas amostras contaminadas com 8% de óleo diesel, evidenciando a influência significativa do elevado teor de cinza sobre os parâmetros de compactação.

A adição do PDV promoveu alterações menos expressivas na MDM quando comparada às misturas contendo CBCA. Em relação à condição sem adição de resíduo, a incorporação de 30% de PDV resultou na redução da MDM de 1,917 para 1,862 g/cm³ nas amostras contaminadas com 2% de óleo diesel e de 1,859 para 1,752 g/cm³ nas amostras contaminadas com 8% de óleo diesel. No entanto, ao se analisar o comportamento das misturas com PDV em função do teor de resíduo, observa-se que, para as amostras com 2% de óleo diesel, o aumento do teor de PDV de 10% para 30% esteve associado a um incremento do MDM, passando de 1,803 para 1,862 g/cm³. Por outro lado, nas amostras com 8% de óleo diesel, o aumento do teor de PDV resultou em uma leve redução da massa específica seca máxima de 1,835 para 1,752 g/cm³.

Constatou-se que as amostras contendo CBCA apresentaram valores de massa específica seca máxima menores em comparação às amostras com pó de vidro, o que pode ser atribuído à sua granulometria mais fina. De acordo com Inan, Mampearachchi e Udayanga (2016), à medida que a fração fina de um material aumenta, os valores de MDM tendem a diminuir, evidenciando que a presença de partículas finas influencia diretamente a massa específica seca máxima que pode ser obtida durante a compactação.

Tabela 3. Massa Específica seca máxima

Mistura	Massa Específica seca máxima (g/cm³)	
SN + 2%OD	1,917	
SN + 8%OD	1,859	
	CBCA	PDV
SO_2Resíduo$_{10}$	1,733	1,803
SO_2 Resíduo $_{20}$	1,483	1,837
SO_2 Resíduo $_{30}$	1,321	1,862
SO_8 Resíduo $_{10}$	1,705	1,835
SO_8 Resíduo $_{20}$	1,522	1,825
SO_8 Resíduo $_{30}$	1,320	1,752

Também verificou-se a diminuição do MDM com o aumento do teor de OD. O aumento do teor de diesel tende a diminuir a massa específica seca máxima do solo, uma vez que esse efeito se deve a massa específica do óleo diesel (0,844 kN/m³) ser muito inferior ao solo (2,630 g/cm³). Portanto, a substituição das partículas do solo por materiais mais leves, como o óleo diesel, diminuiu a massa específica seca máxima dos solos contaminados (Ahmad *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÃO

Neste estudo, avaliou-se a influência da contaminação por óleo diesel e da adição de cinza do bagaço da cana-de-açúcar e pó de vidro nos parâmetros de compactação de um solo laterítico arenoso. Os resultados indicaram que:

- Quanto maior o teor de diesel, menores são a massa específica seca máxima e o teor de fluidos ótimo, efeito atribuído ao menor peso específico do óleo em relação ao solo, bem como ao efeito lubrificante do diesel.
- A adição de CBCA promoveu reduções expressivas na MDM e aumentos significativos no teor de fluidos ótimos, efeito que se intensificou com o incremento do teor de resíduo. Esse comportamento é explicado pela maior fração de partículas finas presentes na CBCA e a sua atividade pozolânica.
- A incorporação de PDV causou alterações menos expressivas na MDM e no teor de fluidos ótimo, refletindo a granulometria mais grossa do material e sua menor capacidade de absorção de água.
- Os resultados obtidos representam uma etapa preliminar de avaliação do potencial dos resíduos, sendo necessários estudos complementares para melhor caracterização da eficiência do tratamento.

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 apoio prestado ao longo do desenvolvimento do trabalho. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro indispensável à realização deste estudo. Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta pesquisa, ficam registrados os sinceros agradecimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6508. Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 12653. Materiais pozolânicos – Especificação. Rio de Janeiro.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7182. Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro.

ABRAVIDRO – Associação Brasileira de Distribuidores e Processadores de Vidro Plano (2022). Panorama ABRAVIDRO – edição 2022. Disponível em: http://www.abravidro.org.br. Acesso em: 10 out. 2023.

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*, 32 (8). DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003169..

Altoé, S. P. S. (2012) Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 179 p.

Azhar, A. T. S. et al. (2016) Leachability of arsenic (As) contaminated landfill soil stabilised by cement and bagasse ash. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160 (1), p. 012078. DOI: https://doi.org/10.1088/1757-899X/160/1/012078

Baracho, G. O.; Correia, N. de S. (2021) Viabilidade de misturas de solo laterítico argiloso com cinza do bagaço da cana para construção de estradas rurais. *Revista Geama*, 7 (2). Disponível em: https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4136. Acesso em: 10 out. 2023.

Benny, J. R. et al. (2017) *Effect of glass powder on engineering properties of clayey soil*. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6 (5).

Bessa, S. A. L. (2011) Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 181 p. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4184. Acesso em: 10 out. 2023.

Blayi, R. A.; Sherwani, A. F. H.; Ibrahim, H. H.; Faraj, R. H.; Daraei, A. (2020) *Strength improvement of expansive soil by utilizing waste glass powde*r. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00427.

Castro, T. R. (2015) Argamassa mista com a cinza pesada e a cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar: propriedades no estado fresco e endurecido. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá. Disponível em: https://peu.uem.br/TainaraRigoti.pdf. Acesso em: 08 set. 2024.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2022) Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 9, n. 2, p. 1-58. Brasília. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar. Acesso em: 10 out 2023.

Faria, K. C. P.; Gurgel, R. F.; Holanda, J. N. F. (2012). *Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks. Journal of Environmental Management*, 101, 7–12. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.032.

Fazeli, G. et al. (2021) *Bearing capacity and geotechnical properties of sandy soil substrate contaminated with oil derivatives*. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 54 (4). DOI: https://doi.org/10.1144/qjegh2020-134.

Filho, J. H. et al. (2017) Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland. *Matéria*, 22 (3). DOI: https://doi.org/10.1590/s1517-707620170003.0207.

Ibrahim, H. H.; Mawlood, Y. I.; Alshkane, Y. M. (2019) *Using waste glass powder for stabilizing high-plasticity clay in Erbil city-Iraq. International Journal of Geotechnical Engineering*, 15 (4), p. 496–503. DOI: https://doi.org/10.1080/19386362.2019.1647644

Inan, I. I. I.; Mampearachchi, W. K.; Udayanga, P. A. S. (2016) *Effect of fine percentage on the properties of sub-base material*. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 49 (4), p. 15. DOI: https://doi.org/10.4038/engineer.v49i4.7234.

Khamehchiyan, M.; Charkhabi, A. H.; Tajik, M. (2006) *Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils*. *Engineering Geology*, 89 (3-4), p. 220–229. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.10.

Malacarne, S. M. (2021). Processamento e caracterização do resíduo da queima do bagaço da cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados.

Matos, W. E. de C. et al. (2021) Utilização de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material de preenchimento estrutural ou pozolânico para a produção de argamassas cimentícias: uma revisão. Matéria: Teresina, v. 26, n. 4. 20 p. DOI: doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1322

Olufowobi, J. et al. (2014) Clay soil stabilization using powdered glass. *Journal of Engineering Science and Technology*, Nigéria, p. 14-28, mai. 2014.

Portelinha, F. H. M. et al. (2021). *Geotechnical properties and microstructure of a diesel contaminated lateritic soil treated with lime*. *Soil and Sediment Contamination*, 30(7), 838–861.

Radke, I. B. de G. (2022) Viabilidade da utilização de resíduo de laminação de vidro na confecção de concretos estruturais. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá

ROTTA, J. V. P. Avaliação da utilização de resíduo de vidro como substituto parcial do cimento em concretos estruturais baseada na resistência à compressão e no ataque de soluções agressivas. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2022.Tavares, S. R. de L. (2013). Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados. Joinville: Clube de Autores.

Tajudin, S. A. et al. (2015) *Utilization of sugarcane bagasse ash for stabilization/solidification of lead-contaminated soils. Jurnal Teknologi*, 77 (11). DOI: https://doi.org/10.11113/jt.v77.6430