

18º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

REAPROVEITAMENTO DE CINZAS PROVENIENTES DA QUEIMA DE RESÍDUOS TÊXTEIS EM FORNOS CERÂMICOS NA GEOTECNIA

Michael Jackson Alves de Oliveira ¹; Thiago de Sá Sena ²; Daniela Lima Machado da Silva ³

Resumo – A geração de resíduos industriais não renováveis, sem destinação sustentável, agrava os impactos ambientais, especialmente quando descartados de forma inadequada. Um exemplo é a queima de resíduos têxteis como combustível em fornos cerâmicos, que gera cinzas sem aplicação definida ou disposição correta. Nesse contexto, este estudo avaliou o potencial de reaproveitamento dessas cinzas em obras geotécnicas, por meio da análise de suas propriedades físicas e mecânicas. A pesquisa foi conduzida na região de Russas, no Vale do Jaguaribe (Ceará), utilizando ensaios de caracterização geotécnica, compactação Proctor Normal e cisalhamento direto. Os resultados indicaram que as cinzas apresentam características favoráveis com potencial de uso na engenharia civil e na geotecnia, destacando-se um elevado ângulo de atrito interno (45,98°), que confere resistência a tensões de cisalhamento, e umidade ótima de compactação de 38,88%. Conclui-se que o material possui viabilidade técnica para aplicação em obras geotécnicas, oferecendo uma solução mais sustentável para a gestão desses resíduos.

Palavras-Chave – Resíduos industriais; sustentabilidade; reaproveitamento; comportamento geotécnico; cisalhamento.

Abstract – The generation of non-renewable industrial waste without sustainable disposal solutions exacerbates environmental impacts, particularly when improperly discarded. A notable example is the combustion of textile waste as fuel in ceramic kilns, which produces ashes with no defined application or proper disposal method. Within this context, this study evaluated the potential reuse of these ashes in geotechnical works by analyzing their physical and mechanical properties. The research was conducted in the Russas region of the Jaguaribe Valley (Ceará, Brazil), employing geotechnical characterization tests, Standard Proctor compaction, and direct shear tests. Results demonstrated that the ashes exhibit favorable characteristics for civil engineering and geotechnical applications, notably a high internal friction angle (45.98°), which enhances shear stress resistance, and an optimum compaction moisture content of 38.88%. The study concludes that this material is technically viable for geotechnical applications, offering a sustainable alternative for managing such waste streams.

Keywords: Industrial waste; sustainability; reuse; geotechnical behavior; shear strength.

¹ Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, mjackson20@alu.ufc.br

² Doutorando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, thiagosena@ufc.br

³ Eng. Civil. PhD, Universidade Federal do Ceará, danielalms@ufc.br

1. INTRODUÇÃO

O Centro de Pesquisa em Ciência, tecnologia e Sociedade afirma que com o avanço do desenvolvimento econômico e industrial no Brasil, o país tornou-se um dos maiores geradores de resíduos sólidos industriais e urbanos (IPEA, 2020). Njewa (2025) afirma que a produção acentuada desses materiais representa um desafio ambiental significativo quanto à sua destinação final, quando dispostos em aterros inapropriados ou descartados na natureza, impactando diretamente a qualidade do solo, da água e do ar.

Dentre os diversos setores industriais, a indústria têxtil se destaca como uma das principais geradoras de resíduos, incluindo sobras de tecidos, fibras sintéticas, corantes e produtos químicos utilizados nos processos de tingimento e acabamento. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) revelou para a CNN Brasil (2025), que Brasil descarta mais de quatro milhões de toneladas de resíduos têxteis por ano, e destacou que componentes químicos dos tecidos e tinturas contaminam meio ambiente.

Kamitana et al. (2008), em sua pesquisa sobre a incorporação de resíduos têxteis em matrizes argilosas para a produção de blocos cerâmicos, aponta que a resistência desses blocos, após a adição dos resíduos, chegou a ser cinco vezes superior à resistência mínima exigida pela norma. Além disso, algumas indústrias reutilizam esses resíduos como fonte de combustível em processos de queima, especialmente na fabricação de materiais para a construção civil. Um exemplo é a utilização desses resíduos em fornos de fábricas de cerâmica vermelha. Como resultado desse processo, é gerado um subproduto após a combustão, denominado neste trabalho como "cinzas têxteis". Trata-se de um resíduo industrial que ainda não possui aplicação comercial definida, o que leva ao seu acúmulo como subproduto sem destinação específica.

As cinzas têxteis analisadas nessa pesquisa apresentaram características e propriedades de cinzas de fundo, com uma granulometria mais granular semelhante à de solos arenosos, e com predominância de partículas finas em sua composição, similar aos resultados encontrados por Diógenes (2023). Além disso, suas propriedades físicas e químicas são diretamente influenciadas pelos materiais utilizados na fabricação dos tecidos e pelas condições do processo de combustão, enquanto sua coloração varia entre tons acinzentados, a depender do tipo de material dos tecidos e corantes presentes nos resíduos queimados, como descreve Xu et al. (2020) ao analisar os efeitos cooperativos do volume livre e de nanocristalito na plasticidade de amostras amorfas.

Segundo a pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (ABREMA, 2024), no Brasil cerca de 80% de subprodutos residuais são descartados no meio ambiente em áreas inadequadas, resultando em impactos ambientais e no desperdício de materiais com potencial de reutilização. Nesse contexto, estudos realizados por Zonatti (2016), descrevem como alternativas de reaproveitamento, a reciclagem e a aplicação desses resíduos têxteis em obras geotécnicas surgem como alternativas sustentáveis para a destinação final desses materiais.

Além do âmbito da geotecnia, segundo Yalcin-Enis et al. (2019), os resíduos têxteis podem ser reutilizados na produção de isolantes térmicos e acústicos, em materiais de construção, no reforço de compósitos, na conversão para produtos químicos e em diversas outras aplicações comerciais que aproveitam suas propriedades. Para enfrentar esse desafio, autores como Fletcher e Tham (2019) sugerem estratégias de gestão que incluem recuperação energética, reciclagem, reutilização e redução dos resíduos gerados.

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar as propriedades físicas e mecânicas das cinzas têxteis e investigar seu potencial de aplicação em misturas com solos para obras geotécnicas, especialmente em projetos envolvendo obras de terra. A pesquisa busca ampliar o conhecimento sobre esse resíduo e avaliar sua viabilidade como material alternativo na engenharia civil, promovendo a sustentabilidade no setor e minimizando a demanda por recursos naturais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Processos metodológicos, coleta e tratamento da cinza têxtil

A pesquisa iniciou-se com a coleta da cinza têxtil. Após a coleta, o material passou por tratamentos prévios antes da realização dos ensaios de caracterização física, como limpeza de impurezas e restos de tecidos, a separação e armazenagem do material também foram realizadas a fim de preservar e não interferir nas características físicas do material. Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma com o cronograma das atividades desenvolvidas ao longo do estudo.



Figura 1. Cronograma de processos para a cinza têxtil.

Os ensaios geotécnicos de caracterização da cinza têxtil foram realizados no Laboratório de Construção Civil (LCC) e Laboratório de Solos e Pavimentação (LAMSP) da UFC campus de Russas. Para os ensaios de resistência mecânica de cisalhamento direto com amostra submersa sob diferentes aplicações de carga, foram utilizadas as instalações do Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LMSP), localizado no campus do Pici da UFC.

Para os métodos experimentais, seguiu-se a literatura normativa da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Foram realizados os ensaios de umidade higroscópica, granulometria por peneiramento e sedimentação, densidade real ou massa específica dos grãos, limites de Atterberg, compactação sob energia Proctor normal, análise química por Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX) e cisalhamento direto.

Na Tabela 1, estão representados os ensaios experimentais realizados para o material e seus respectivos métodos.

Tabela 1. Métodos experimentais realizados para a cinza têxtil.

Material	Solo Residual de Granito
Preparação das Amostras	ABNT NBR 6457:2016
Umidade Higroscópica	ABNT NBR 6457:2016
Densidade Real	ABNT NBR 6458:2016
Granulometria por Peneiramento e Sedimentação	ABNT NBR 7181/2016
Limite de Plasticidade (LP)	ABNT NBR 6459:2016
Limites de Liquidez (LL)	ABNT NBR 7180:2016
Caracterização Química	Fluorescência de Raios X – (FRX)
Ensaio de Compactação	ABNT NBR 7182:2016
Cisalhamento Direto	STM D3080-04

O fluxograma que representa a cronologia dos ensaios realizados para a amostra está apresentado na Figura 2.

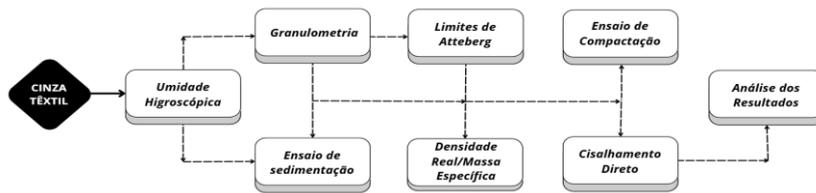


Figura 2. Cronograma de atividades realizadas.

As cinzas têxteis utilizadas neste estudo foram obtidas por meio da combustão controlada de resíduos de redes têxteis em fornos cerâmicos industriais. As amostras foram cedidas pela empresa Cerâmica do Liro, situada no município de Russas-CE, a aproximadamente nove quilômetros do campus da Universidade Federal do Ceará (UFC) Campus de Russas. A localização da fábrica responsável pela produção das cinzas analisadas neste estudo está ilustrada na Figura 3.

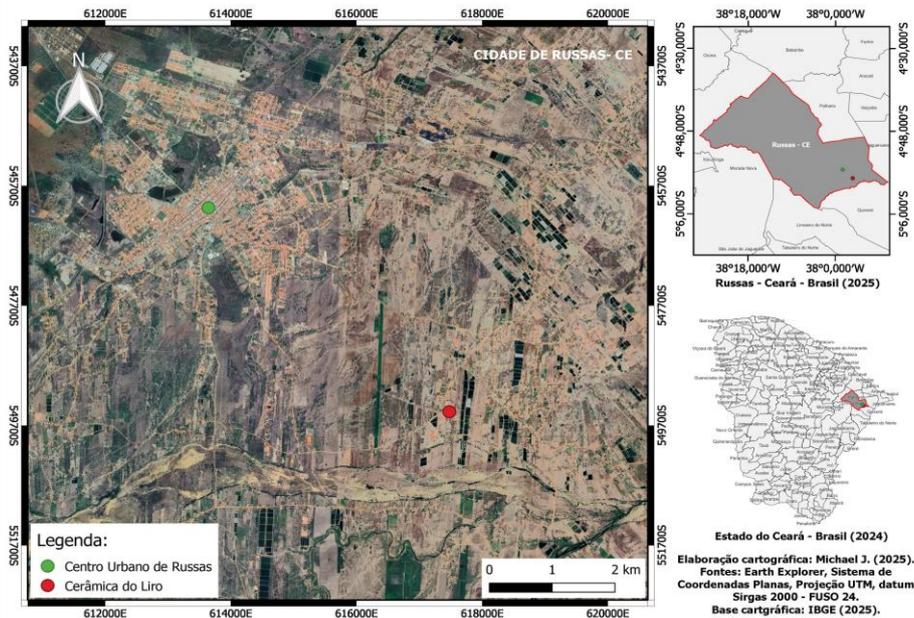


Figura 3. Localização da fábrica onde realizou-se a coleta do material.

A obtenção desse material foi viabilizada por meio de uma parceria institucional. Os colaboradores da fábrica informaram que os resíduos têxteis empregados no processo são provenientes de uma indústria localizada no município de Jaguaruana-CE, a cerca de 29 km de Russas. Na figura 4, estão apresentados algumas das etapas experimentais realizados para a amostra de cinza têxtil.

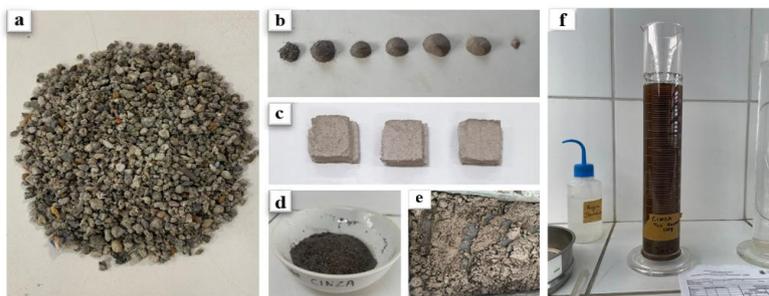


Figura 4. Tratamento e ensaios realizados com a cinza têxtil; a) Representação física granular da cinza; b) Porcentagens granulométricas com diferentes diâmetros; c) Corpos de prova da cinza, após o ensaio de cisalhamento direto; d) Cinza após sedimentação; e) Adição de umidade para compactação da cinza; f) Processo de sedimentação da cinza.

3. RESULTADOS

a. Caracterização geotécnica

Os ensaios de umidade higroscópica foram realizados para as amostras de cinza, seguindo os requisitos exigidos pela normatização e determinadas em duplicata. Os resultados são demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado do ensaio de umidade higroscópica.

Amostras	Tara da Cápsula (g)	Massa Bruta Úmida (g)	Massa Bruta Seca (g)	Massa da Água (g)	Massa da Material Seco (g)	Umidade (%)	Umidade Média
Amostra 1	1	15,53	74,86	72,75	2,11	57,22	3,69%
	2	16	59,28	57,79	1,49	41,79	3,57%
Amostra 2	1	13	72,53	70,47	2,06	57,47	3,58%
	2	16,96	52,79	51,57	1,22	34,61	3,52%

A cinza têxtil apresentou umidade higroscópica de 3,59%, valor superior ao encontrado por Diogenes (2023), que ao avaliar a umidade higroscópica de cinzas provenientes da queima de resíduos têxteis encontrou valor aproximado a 0,61%. Segundo Soares (2005), materiais com alta umidade higroscópica tendem a reter mais água, diminuindo seu peso específico seco e reduzindo sua capacidade de resistência ao cisalhamento, o que pode causar falhas estruturais. Um menor valor de umidade higroscópica está relacionado a uma capacidade inferior de retenção de água, devido à maior proporção de partículas sólidas no material e a sua porosidade. A cinza têxtil por sua vez, quando comparada a solos arenosos e não plásticos, apresenta uma maior chance de absorção de água, por conta da quantidade de partículas finas e porosas, mas a diferença não é significativa.

Para os resultados ensaios de Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP), a cinza não apresentou valores característicos para a classificação dos limites, o que era esperado para um material residual. Em um estudo realizado pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), Szeliga (2010) observou que não foi possível determinar os Limites de Atterberg para cinzas puras, devido ao comportamento granular do material, que não apresentou características plásticas durante o ensaio. Os limites de Atterberg são típicos de solos finos, como argila e solos argilosos, que, por possuírem partículas finas e reagirem com a água, apresentam coesão entre as partículas. Assim, como a cinza é um material inerte e residual, a ausência de limites de Atterberg e índices de plasticidade foi observada. A curva granulométrica da cinza está

apresentada na Figura 5. A análise da curva revelou que o material demonstrou uma predominância de frações de partículas médias e finas, indicando cerca de 6,64% de partículas grossas, 59,83% de médias e 33,53% de finas.

O Coeficiente de Uniformidade (CNU) e o Coeficiente de Curvatura (CC) indicaram que a cinza têxtil possui uma granulometria com partículas granulometricamente bem distribuída, mas com predominância em finos, o Índice de Grupo (IG) calculado para a amostra, resultou em valores nulos. Dessa forma, a incorporação da cinza têxtil pode contribuir para melhoria das propriedades mecânicas do solo. Estudos como os de Nogami e Villibor (1995) destacam que a adição de materiais finos em misturas de solos melhora a coesão interna, o que pode ser vantajoso em aplicações como bases e sub-bases de pavimentos.

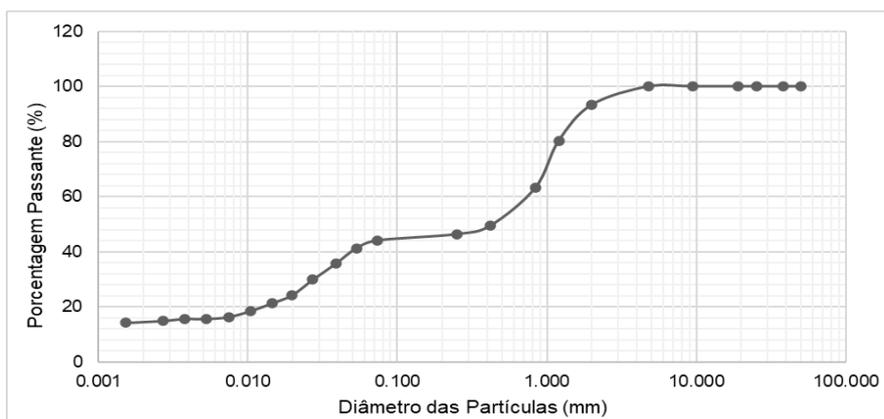


Figura 5. Curva granulométrica da cinza têxtil.

Na Tabela 3, está representada a classificação da amostra, seguindo os métodos para classificação de solos através do método do Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS).

Tabela 3. Classificação da cinza têxtil pelo método (SUCS).

Descrição	Cinza
% passante na peneira 2 mm	93,356
% passante na peneira 0,075 mm	47,103
IP (%)	-
LL (%)	-
Classificação SUCS	SM
Denominação	(Areia Siltosa)

Onde: LL – limite de liquidez; LP – limite de plasticidade; SM – Areia siltosa.

Para o ensaio de massa específica realizado para a amostra de cinza têxtil, com temperatura de 29 °C, obteve-se resultado de massa específica para o material igual a 2280 kg/m³, esse valor para a densidade real indica que essa cinza pode ser um material leve em comparação com solos convencionais. Indicado que de acordo com a proporção do traço, em misturas com outros materiais, a adição desse material pode influenciar diretamente em seu bom desempenho. Pesquisas como as de Lima *et al.* (2018) demonstram que a incorporação de resíduos industriais, como cinzas, pode melhorar o índice de suporte Califórnia (CBR), tornando o material mais adequado para aplicações geotécnicas.

b. Caracterização Mecânica

Para a análise do comportamento mecânico da cinza têxtil, realizou-se ensaios de compactação com energia Proctor normal e ensaio de cisalhamento direto com amostra inundada. Na Figura 6, estão apresentados os seis pontos resultantes do ensaio de compactação para encontrar a umidade ótima do material.

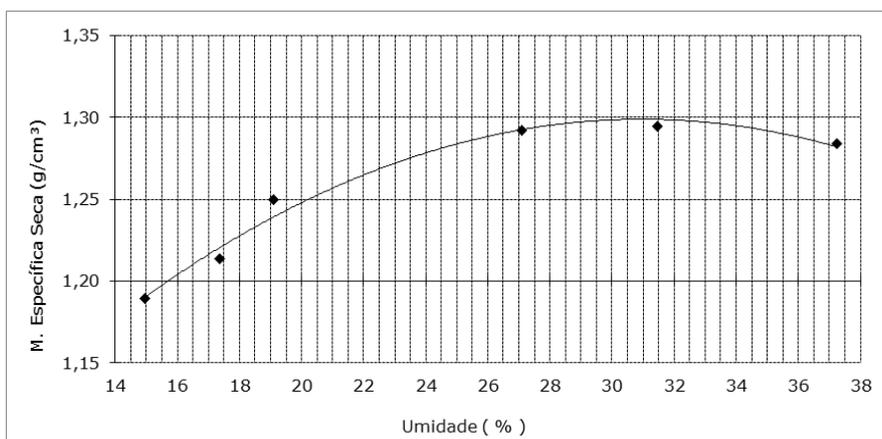


Figura 6. Curva de compactação da cinza têxtil.

Através da curva de compactação observa-se que a umidade ótima da cinza é elevada, em comparação com resultados obtidos no estudo de umidade ótima para solos arenosos e não plásticos. Porém supõe-se que, quando a cinza é incrementada em misturas com solos, a mistura entre os materiais pode apresentar redução nos valores de retenção hídrica, a depender do traço da mistura. Os dados do ensaio de compactação para a cinza têxtil e os respectivos resultados, como massa específica seca e umidade ótima são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado do ensaio de umidade higroscópica.

Amostras	Energia de Compactação	Proctor	Massa Específica Seca (kg/m³)	Umidade Ótima (%)
Cinza	Intermediária	Normal	1324	32,88

Após realizar o ensaio de cisalhamento direto para a amostra de cinza têxtil, os dados coletados foram analisados e apresentaram os seguintes resultados apresentados neste tópico. Na Figura 7, estão apresentadas as curvas de resistência ao cisalhamento em relação ao deslocamento horizontal em diferentes aplicações de tensões normais (50, 100 e 200 KPa).

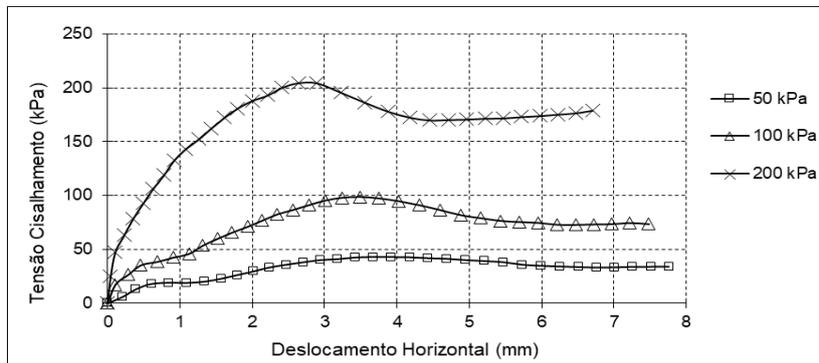


Figura 7. Gráfico de tensão versus deformação da cinza têxtil de acordo com tensão normal aplicada.

Para a tensão normal de 50 kPa, a tensão de cisalhamento atinge níveis de tensões baixos devido à ausência de confinamento dos grãos e ao elevado volume de vazios da amostra, indicando baixa resistência ao cisalhamento sob baixas tensões normais, como já abordado por Bolton (1986). Já para as tensões de 100 kPa e 200 kPa, há um pico seguido de queda, porém sugerindo que o material apresentou progresso de resistência a tensões de cisalhamento sob maiores tensões de confinamento, como descrito por Terzaghi et al. (1996).

A cinza têxtil apresentou instabilidade volumétrica durante o ensaio, com tendência inicial de expansão, especialmente sob menores tensões normais, comportamento similar ao do solo. Com o aumento do deslocamento horizontal, a variação volumétrica ocorreu de forma irregular, indicando baixa coesão e alta compressibilidade, assim como descrito por Sivapullaiah et al. (2000), que afirma que esse comportamento é característico de resíduos industriais, como cinzas volantes e cinzas de biomassa. Em tensões mais elevadas, a tendência expansiva persistiu, evidenciando sua menor resistência estrutural. Fredlund & Rahardjo (1993) afirmam que expansão contínua indica que as partículas continuam se rearranjando, mesmo após o fechamento inicial dos vazios, o que é típico de materiais com alta compressibilidade e baixa densidade. O comportamento de variação volumétrica da cinza sob diferentes tensões normais (50, 100 e 200 kPa), estão representados na Figura 8.

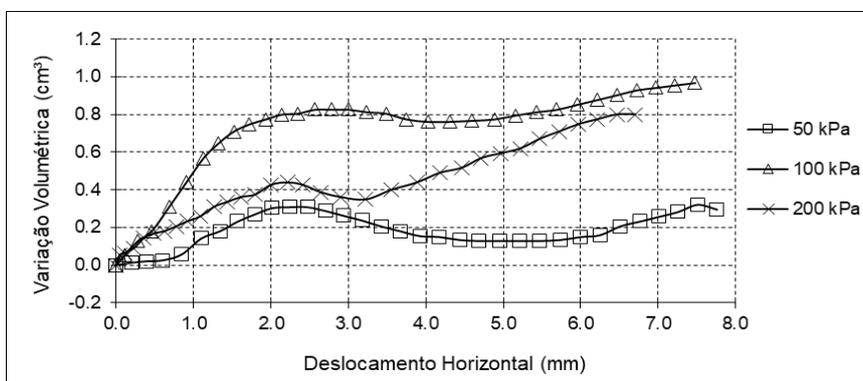


Figura 8. Gráfico de variação volumétrica versus deslocamento horizontal da cinza têxtil.

Na Figura 9 está representada a reta de tensão cisalhamento em relação a tensão normal, que é a envoltória de ruptura da amostra com os pontos de resistência ao cisalhamento de acordo com as tensões normais aplicadas de 50, 100 e 200 KPa para a cinza têxtil.

A função y apresentada na Figura 9, representa a envoltória de ruptura da cinza têxtil. Para identificar o intercepto coesivo, faz-se ($x = 0$), mas como a amostra não apresenta coesão, conclui-se que esse coeficiente é nulo.

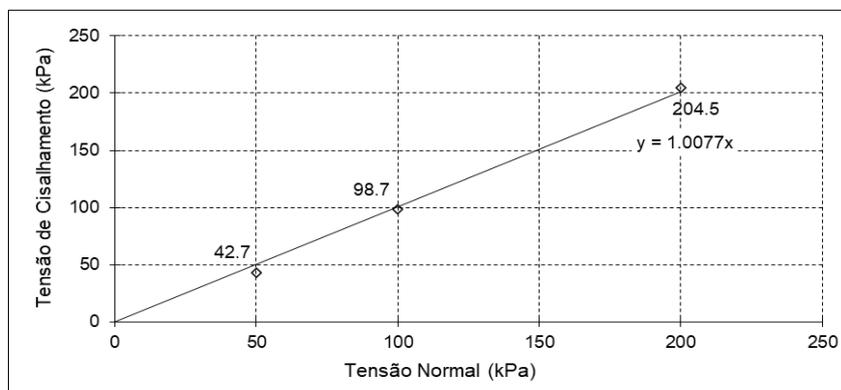


Figura 9. Curva granulométrica da cinza têxtil.

O cálculo da $\tan^{-1}(1,0077) \cong 45,21^\circ$, sendo o resultado o valor correspondente ao ângulo de atrito interno do solo em seu estado natural. Na Tabela 5 estão representados os principais resultados obtidos através do ensaio de cisalhamento direto com a amostra de cinza têxtil.

Tabela 5. Resultados para o ensaio de cisalhamento direto na amostra de cinza.

Corpo de Prova	Massa Específica Aparente Seca (kg/m^3)	Umidade (%)	Tensão Normal (KPa)	Tensão de Cisalhamento Máxima (KPa)	Coesão (KPa)	Atrito (Graus)
1	1358	32,9	50	42,7		
2	1358	32,9	100	98,7	0	45,21
3	1358	32,9	200	204,5		

Os resultados obtidos para a cinza têxtil evidenciam que o material possui um elevado ângulo de atrito interno ($\phi = 45,21^\circ$), o que indica uma significativa resistência ao cisalhamento devido à fricção entre suas partículas. Das (2010) explica que esse comportamento é típico de materiais granulares com superfícies rugosas ou irregulares, que aumentam a resistência ao deslizamento relativo das partículas, e comenta que esse parâmetro é favorável para aplicações em que a resistência ao cisalhamento é crítica, como em aterros ou bases de pavimentos.

Na pesquisa realizada por Diógenes (2023), os resultados encontrados indicaram que a cinza têxtil, quando misturada ao solo em proporções adequadas (especialmente 50%), pode ser uma alternativa viável para aplicação em camadas de sub-base de pavimentos.

4. CONCLUSÕES

A caracterização geotécnica e mecânica das cinzas geradas pela queima de resíduos têxteis permitiu entender melhor suas propriedades físicas e estruturais. Os ensaios de granulometria

indicaram que a composição da cinza é predominantemente composta de partículas médias, finas e porosas e com valor de umidade higroscópica aceitáveis. Para o ensaio de densidade das partículas obteve-se 1324kg/m³. Os resultados obtidos demonstram que as cinzas têxteis apresentam propriedades físicas e mecânicas que apresenta potencial de uso na engenharia civil e na aplicação em misturas de solo para obras geotécnicas, porém é necessário realizar ensaios específicos com essas misturas. A análise mecânica revelou que o material possui um elevado ângulo de atrito interno, de aproximadamente 45,98°, o que indica uma boa característica para resistir a tesões de cisalhamento e necessita de cerca de 38,88% de umidade para atingir os níveis de umidade ótima. Embora não seja recomendado a utilização isolada do material, seu emprego em conjunto com outros materiais pode representar uma alternativa viável para estabilização de solos, contribuindo para a destinação sustentável desse resíduo industrial. No entanto, para consolidar sua viabilidade técnica, são necessários estudos adicionais que avaliem o comportamento do material em diferentes condições de aplicação e sua compatibilidade com outros materiais e componentes.

REFERÊNCIAS

BOLTON, M.D. (1986) "The strength and dilatancy of sands" in *Géotechnique*, v. 36, n. 1, p. 65-78.

CNN BRASIL. (2025) "Brasil descarta mais de 4 milhões de toneladas de resíduos têxteis por ano". CNN Brasil. Disponível em: [<https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/brasil-descarta-mais-de-4-milhoes-de-toneladas-de-residuos-texteis-por-ano/>]. Último acesso: 03/04/2025.

DAS, B.M. (2010) *Principles of Geotechnical Engineering*, 7. ed. Stamford: Cengage Learning.

DIÓGENES, L.A. (2023) "Incorporação de cinzas têxteis provenientes de fornos cerâmicos como camadas de sub-base de pavimentos". Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, Campus Russas. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/75210>. Último acesso: 05/01/2025.

FREDLUND, D.G.; RAHARDJO, H. (1993) *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. John Wiley & Sons.

LIMA, S.A.; SANTOS, M.A.; FERREIRA, R.D. (2018) "Avaliação da incorporação de resíduos industriais em misturas de solos para pavimentação" in *Revista Brasileira de Geotecnia*, v. 21, n. 2, p. 45-58.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. (1995) *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Editora Villibor.

SIVAPULLAIAH, P.V.; BAIG, M.A.; SANKAR, H.S. (2000) "Compressibility of fly ashes" in *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 126, n. 9, p. 804-811.

SOARES, R.M. (2005) "Resistência ao Cisalhamento de um Solo Coluvionar Não Saturado do Rio de Janeiro, RJ". Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SZELIGA, L. (2010) "Aplicabilidade de Resíduos e Rejeitos Ambientais para Aproveitamento em Pavimentação". Relatório de Iniciação Científica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Último acesso: 03/04/2025.

TERZAGHI, K.; PECK, R.B.; MESRI, G. (1996) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons.

YALCIN-ENIS, I.; KUCUKALI-OZTURK, M.; SEZGIN, H. (2019) "Risks and Management of Textile Waste" in *Nanoscience and Biotechnology for Environmental Applications*, p. 29-53. Springer

International Publishing. Último acesso: 08/01/2025.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (s.d.) "CTS - Centro de Tecnologia e Sociedade". Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/>. Último acesso: [dia/mês/ano].

KAMINATA, O.T. et al. (2008) "Incorporação de resíduo têxtil de lavanderias industriais na fabricação de blocos cerâmicos de vedação" in *Cerâmica Industrial*, v. 13, n. 3, p. 39-43. Universidade Estadual de Maringá.

XU, X. et al. (2020) "Cooperative effects of free volume and nanocrystallite on plastic deformation in bulk amorphous $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ " in *Ceramics International*, v. 46, n. 8, p. 11049-11055.

ZONATTI, W. (2016) "Indústria da moda: uma análise das competências requeridas para a sustentabilidade empresarial". Tese (Doutorado em Administração), Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100136/tde-26042016-192347/publico/CorrigidaWeltonZonatti.pdf>. Último acesso: [15/05/2025].