

ARGAMASSA CIMENTÍCIA COM RESÍDUO DE CELULOSE

Dáleth Beatriz Alves¹, Nicole Veiga Frogel Vassimon¹, Georgia Serafim Araújo¹,
Alessandra Savazzini-Reis¹

¹Coordenadoria de Engenharia Civil, Ifes-Campus Vitória, Vitória-ES, Brasil
(dalethbeatrizalves08@gmail.com)

Resumo: A indústria de celulose gera vários resíduos, como a cinza de caldeira de biomassa (CCB), que podem ser incorporados em materiais de construção. Com isso, o objetivo é avaliar a utilização da CCB em matriz cimentícia em substituição parcial do cimento Portland em teores de 0 a 15%. Foram feitos ensaios de caracterização e análise de propriedades físicas e mecânicas das matrizes cimentícias. Os resultados indicaram que o teor de 5% promoveu melhor desempenho na resistência mecânica.

Palavras-chave: cinza de caldeira de biomassa, CCB, resíduo de celulose, argamassa com cinza.

INTRODUÇÃO

O aproveitamento de resíduos é um dos principais fatores para se alcançar o desenvolvimento sustentável nos processos produtivos. A indústria de produção de celulose e papel se insere neste contexto ao gerar vários resíduos em sua cadeia produtiva.

Já, a indústria da construção civil demanda grande quantidade de materiais que podem servir para incorporar resíduos e ainda promover melhoria das propriedades tecnológicas. Nesse sentido, o objetivo do estudo é avaliar a utilização da cinza de caldeira de biomassa (CCB) em matriz cimentícia em substituição parcial do cimento Portland.

A produção de celulose brasileira chegou a 25,5 milhões de toneladas e a produção de papel a 10,8 milhões de toneladas em 2024 (IBÁ, 2026). A área plantada no Brasil corresponde a um total de 10,52 milhões de hectares com cerca de 38% destinados à produção de celulose e papel.

A Figura 1 apresenta a distribuição de área plantada em 2024 no Brasil. Os plantios florestais concentram-se nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, todos com áreas superiores a 1 milhão de hectares.

O estado do Espírito Santo apresenta uma área de 280.169 hectares, representado cerca de 2,7% do total do país. A área plantada em 2024 é constituída de 77% de eucalipto e 18% de pinus (IBÁ, 2026), principais fontes para obtenção de celulose e papel.

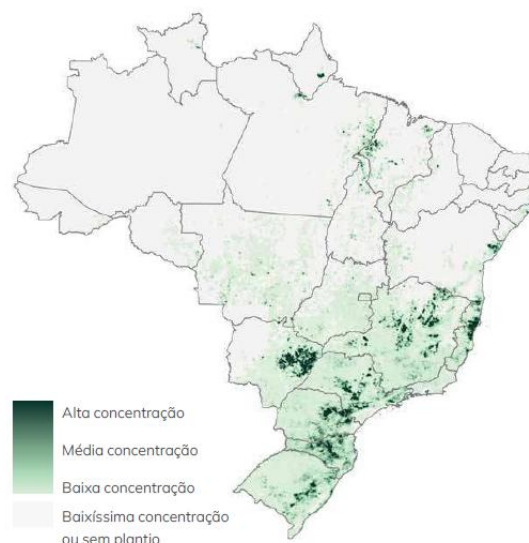
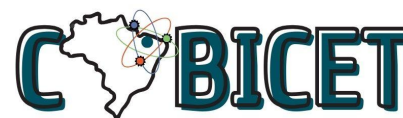


Figura 1. Distribuição de área plantada em 2024 [hectares]

Fonte: Adaptado de Canopy Remote Sensing Solutions - CANOPY (2024) | ESG Tech (2024) apud IBÁ (2026)

A celulose é um polímero orgânico que compõem a madeira junto com a lignina e a hemicelulose. O processo “kraft” é muito usado para obtenção da celulose, o qual consiste na sua digestão em NaOH (hidróxido de sódio) e Na₂S (sulfeto de sódio) para dissolver a lignina da celulose e individualizar as fibras da celulose (Rodrigues *et al.*, 2019; Souza, 2024).

Na fabricação de papel e celulose são gerados vários resíduos, tais como, dregs, grits, lodo da estação de tratamento de água, lama de cal, cinza da caldeira de



biomassa e os resíduos do processamento da madeira (Rodrigues *et al.*, 2020).

A cinza de caldeira de biomassa - CCB, foco desta pesquisa, é gerada a partir da queima das cascas de madeira da indústria de celulose em caldeira de biomassa. Ela apresenta potencial pozolânico e pH alcalino, o que a torna ainda mais valiosa para diversas aplicações, incluindo segundo Maeda, Costa e Silva (2010), o uso como corretivo de solo. Corroborando o uso em solo, o relatório de sustentabilidade da empresa de celulose Suzano apresenta essa destinação para cerca de 181 mil toneladas produzidas de cinza de caldeira juntamente com a lama de cal, grits e dregs em 2023 (Suzano, 2023), já no Relatório da empresa de 2025 é consolidada a produção de corretivo de acidez de solo a partir de seus resíduos gerados, tal como, as cinzas (Suzano, 2025).

Por outro lado, a indústria da construção civil demanda grande quantidade e variedade de materiais a serem empregados nas obras. Os materiais são provenientes de matérias-primas naturais e apresentam alta capacidade de incorporar resíduos, muitas vezes com melhoria nas propriedades tecnológicas.

Um dos materiais mais consumidos em canteiros de obra é o cimento Portland, composto de calcário e argila calcinados a cerca de 1450°C e acrescido de algumas adições minerais. As pastas, argamassas e concreto são feitos à base de cimento Portland. A produção do cimento no Brasil em 2025 foi de 67,3 milhões de toneladas segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2026).

Ao longo das últimas décadas questionamentos tem sido feitos sobre a utilização do cimento Portland, tendo em vista a quantidade de matérias-primas naturais que consome e a emissão de carbono em seu processo de fabricação estimado em 7% das emissões globais de CO₂ (ABCP, 2025).

A partir daí, são propostos materiais em substituição ao cimento e adições em sua composição. Neste trabalho é proposto que a cinza substitua parte do cimento Portland para se verificar a influência nas propriedades tecnológicas da matriz e assim diminuir a quantidade de cimento usada.

Baptista Jr. (2025) testou a cinza de madeira em argamassas cimentícias feitas com cimento CP V-ARI e com cimento CP III mais cal, ambos com a cinza substituindo parte do cimento e parte da areia nos teores 5% a 15%. Os resultados indicaram que com o aumento do teor de cinza foi necessário aumento de água para manter a consistência igual a da argamassa de referência e o teor de 5% de cinza com argamassa feita com CP V-ARI obteve os maiores valores de resistência à compressão.

Hassan, Abuserriya e Osman (2025) estudaram o uso da cinza de madeira em concreto substituindo o cimento em 5% e 10%. Os resultados indicaram que a cinza diminuiu a trabalhabilidade do concreto e a resistência à compressão aos 28 dias diminuiu com o teor de cinza.

Vários tipos de cinzas foram estudados por Assis (2022), tais como, as geradas da agroindústria (palha de milho, casca de soja, casca de café, casca de laranja, casca de banana, folha de bananeira e folha de bambu) e seus potenciais pozolânicos e alcalinos. Os resultados comprovaram que possuem potencial pozolânico e alcalino, sendo possível a utilização na produção de material cimentante.

Centenaro, Silva e Paulino (2023) utilizaram a cinza de caldeira obtida na produção do malte em substituição parcial (5%, 10%, 15% e 20%) da areia em argamassas com traço 1:3 e relação água/cimento de 0,7. Os resultados demonstraram que com o aumento do teor de cinza houve redução na trabalhabilidade das argamassas, aumento no teor de ar incorporado e consequente diminuição da densidade de massa. Houve ainda um aumento da absorção de água e da porosidade para todas as argamassas, manutenção das propriedades mecânicas nos teores 10 e 15% e aumento das resistências no teor de 20% quando comparada com a argamassa de referência.

Em Tosti *et al.* (2019) foi pesquisada a aplicabilidade da cinza de biomassa em argamassas cimentícias. Os resultados mostraram que a cinza tem potencial de ser utilizada em argamassas mesmo considerando uma composição química variada apresentada em função da sua origem.

Em Resende (2013) foi testada a cinza de cavaco de eucalipto em concreto em substituição parcial do cimento CP V-ARI nos teores 5%, 10% e 15%. Foi verificado que os teores de 5 e 10% não comprometeram o comportamento do concreto quanto a resistência mecânica, sendo o teor de 5% indicado como melhor, pois preencheu os vazios da matriz cimentícia preenchendo os poros existentes.

Concordando com o resultado de Resende (2013), Dal Molin (2005) descreve o efeito microfíler promovido pelas adições com o aumento da densidade da mistura resultante do preenchimento dos vazios por suas minúsculas partículas; tal como ocorre com a cinza.

MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados para o estudo foram o Cimento Portland de alto forno - CP III 40 RS que foi

comprado em comércio local da região da Grande Vitória – ES.

A areia utilizada foi a areia Normal do IPT em quatro frações distintas: fina 0,3 mm a 0,15 mm (#100), média-fina 0,6 mm a 0,3 mm (#50), média-grossa 1,2 mm a 0,6 mm (#30) e grossa 2,4mm a 1,2 mm (#16).

A água usada é considerada potável e fornecida pela concessionária Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN.

A cinza de caldeira de biomassa (CCB) é proveniente de doação de uma fábrica de celulose e apresenta finura de 12,1% de material retido na peneira ABNT nº 200 (abertura de malha 0,075 mm) e pH de 11,4 (Magesk e Sagrillo, 2019). Na Figura 2 é apresentado o aspecto visual da cinza.



Figura 2. CCB

Inicialmente a cinza foi passada na peneira ABNT nº 200 com abertura de malha 75 µm para uniformizar a granulometria. Foi obtida a massa específica da cinza de acordo com a NBR 16605 (ABNT, 2017) em frasco de Le Chatelier com o uso do querosene como líquido não reagente. A análise química da CCB foi verificada por fluorescência de raio X e obtida em Magesk e Sagrillo (2019).

Foi adotada argamassa no traço 1:3 (cimento:areia) com relação a/c de 0,48 seguindo a NBR 7215 (ABNT, 2025) e a partir daí, a cinza foi adicionada substituindo o cimento nos teores 0%, 5%, 10% e 15% (em massa). A mistura dos componentes da argamassa foi feita em misturador mecânico com capacidade de 5L seguindo o procedimento da NBR 16541 (ABNT, 2016). A quantidade de materiais usados no traço das argamassas está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de materiais

Teor (%)	Cimento (g)	Cinza (g)	Areia (g)
----------	-------------	-----------	-----------

0	624,0	0	1872
5	592,8	31,2	1872
10	561,6	62,4	1872
15	530,4	93,6	1872

A determinação do índice de consistência foi feita na *flow table* seguindo o procedimento da NBR 13276 (ABNT, 2016) (Figura 3) medindo-se com paquímetro o diâmetro do espalhamento das argamassas e calculando-se as médias dos valores.



Figura 3. Consistência

Foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos de diâmetro 5cm por 10 cm de altura para determinação da resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias seguindo a NBR 7215 (ABNT, 2025) para cada traço da argamassa (0%, 5%, 10%, 15% de CCB). Após 24h foram desmoldados, identificados e colocados em cura úmida em água saturada com cal.

Nas datas de rompimento, os corpos de prova foram capeados com enxofre na face superior e ensaiados para determinação da resistência à compressão utilizando a prensa hidráulica WPM de 200 tf (Figura 4).



Figura 4. Rompimento do corpo de prova

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa específica da cinza de caldeira de biomassa obtida foi de $2,50 \text{ g/cm}^3$, valor muito próximo de $2,55 \text{ g/cm}^3$ encontrado por Baptista Jr. (2025) e um pouco maior que $2,31 \text{ g/cm}^3$ encontrado por Centenaro, Silva e Paulino (2021), que explica o valor da densidade ser relativamente baixo em função da presença de partículas fibrosas presentes na cinza.

A análise química por fluorescência de raio X indicou presença de sílica (SiO_2) e óxido de cálcio (CaO) em maiores teores, além da alumina (Tabela 2). O óxido de cálcio e a sílica encontrados na CCB fazem parte da composição do cimento Portland. Esse fato sugere um potencial de mistura para a produção da argamassa em substituição parcial ao cimento.

Tabela 2. FRX da CCB (% em massa)

Óxidos	% (massa)
SiO_2	38,2
CaO	23,9
Al_2O_3	7,17
MgO	3,60
Fe_2O_3	2,55
K_2O	1,80
P_2O_5	1,21
SO_3	1,17
Na_2O	0,97

Perda ao fogo	18,43
---------------	-------

Fonte: Adaptado de Magesk e Sagrillo (2019).

Considerando os requisitos químicos da NBR 12653:2016, para a CCB agir como material pozolânico, a somatória ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) deve ser maior que 70% e a perda ao fogo menor que 10%. Entretanto, a CCB estudada apresentou somatória dos óxidos de 47,92% e perda ao fogo de 18,43%, portanto não obedece a esses dois requisitos estabelecidos na NBR para ser considerado material pozolânico. Para confirmação do potencial pozolânico da CCB ensaios como Chappelle modificado e Luxan (Resende, 2013; Baptista Jr., 2025) entre outros podem ser aplicados.

Apesar de não atender aos requisitos da NBR, vários trabalhos têm sido conduzidos para verificar o potencial real de desempenho da CCB em materiais cimentícios, também objetivo do presente estudo. Mehta e Malhotra (1996) corroboram com essa afirmativa dizendo que a quantidade mínima de 70% dos óxidos não apresenta relação direta com as propriedades dos materiais, parte-se do princípio de que o material encontra-se na fase amorfa, o que muitas vezes não ocorre.

O índice de consistência das argamassas é apresentado na Tabela 3. A relação água cimento e a relação água materiais secos foram mantidas constantes em 0,48 e 0,12 respectivamente para todos os traços das argamassas.

Tabela 3. Espalhamento

Teor CCB	Espalhamento (mm)
ARG 0%	133
ARG 5%	133
ARG 10%	134
ARG 15%	139

Nota: CCB: cinza de caldeira de biomassa.

Observa-se que praticamente se manteve constante a consistência das argamassas contendo cinza em relação a argamassa com 0% de cinza, aumentando o espalhamento apenas no teor de 15%. Já em Baptista Jr. (2025) foi necessário aumentar a relação a/c para manter a consistência das argamassas com cinza próxima da referência de 0% de cinza. Em Centenaro, Silva e Paulino (2021) não houve alteração no espalhamento com a adição de cinza, mas a relação a/c foi fixada de 0,7, bem maior que a usada neste

trabalho de 0,48, o que pode justificar os resultados encontrados.

A resistência à compressão obtida aos 7 e 28 dias com os corpos de prova cilíndricos das argamassas com a CCB nos teores de 0%, 5%, 10% e 15% está apresentada nas Figuras 5 e 6.

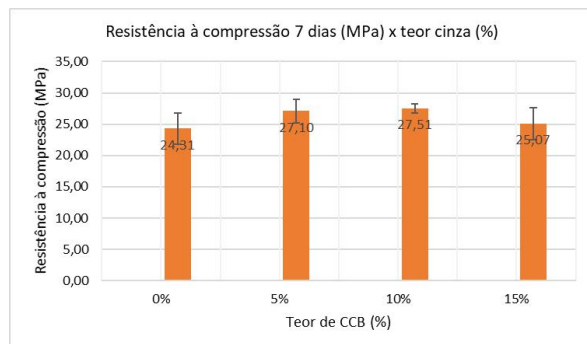


Figura 5. Gráfico da resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 dias

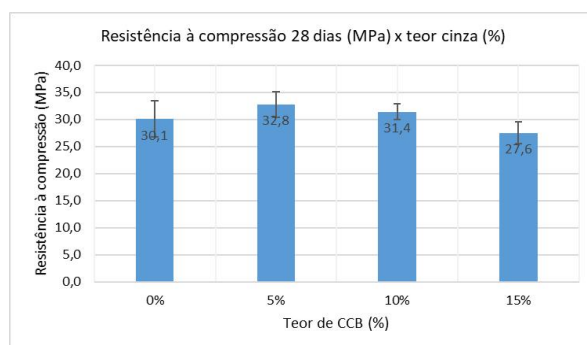


Figura 6. Gráfico da resistência à compressão dos corpos de prova aos 28 dias

Verifica-se aos 7 dias (Figura 5) que as argamassas com cinza alcançaram resistências maiores, ou seja, houve uma velocidade maior hidratação do cimento, em relação a argamassa com 0% de CCB.

Já aos 28 dias, o maior valor de resistência à compressão foi obtido no teor de 5% de CCB, seguido do teor de 10%, o que é corroborado por Baptista Jr., que também obteve maior resistência em 5% de cinza em argamassa com cimento CP V-ARI. A cinza no teor de 5% pode ter colmatado os poros na matriz cimentícia por sua elevada finura, com isso, foi alcançada a maior resistência à compressão nos corpos de prova.

Assim, a cinza pode estar modificando a estrutura interna da matriz cimentícia, tornando a argamassa mais densa e coesa promovendo a redução da porosidade, além de diminuir o calor de hidratação corroborando o que afirma Dal Molin (2005).

CONCLUSÃO

O estudo comprova a viabilidade da utilização da cinza de caldeira de biomassa (CCB) como uma alternativa sustentável na produção de argamassas cimentícias. Pode-se concluir que a CCB apresenta características adequadas para utilização em argamassa, como sua composição química próxima do cimento Portland e massa específica.

A CCB no teor de 5% de substituição ao cimento Portland apresentou o melhor desempenho mecânico e não influenciou negativamente a consistência da argamassa.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes pela concessão das bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

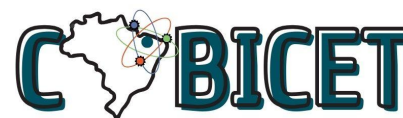
ABCP-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Como a indústria do cimento pretende, com investimentos bilionários, reduzir a emissão de poluentes.** Disponível em: <https://abcp.org.br/como-a-industria-do-cimento-pretende-com-investimentos-bilionarios-reduzir-a-emissao-de-poluente/>. 2025.

ASSIS, L.F. **Caracterização de cinzas de biomassa e potencial de aplicação como material pozolânico ou ativador alcalino.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista - INESP, Ilha solteira, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro: ABNT, 2005.



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BAPTISTA JR, G. **Argamassa de camada única com resíduo de biomassa da indústria de celulose: Propriedades físicas, mecânicas e de durabilidade**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF. Campos dos Goytacazes-RJ. 203p. 2025.

CENTENARO, S.H.; SILVA, J.A.G.; PAULINO, R.S. Uso de cinzas de biomassa geradas na agroindústria do malte para produção de argamassas. **Revista Internacional de Ciências**. Rio de Janeiro. v.11, n.02, p.158-176, maio-ago 2021. DOI: 10.12957/ric.2021.54512

DAL MOLIN, D.C.C. Adições minerais para o concreto estrutural. In: ISAIA, G.C. **Concreto – ensino, pesquisa e realizações**. 1ª Edição. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON. 2005. 2 volumes, Cap. 12, p. 345-379.

IBÁ- Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório anual 2025**. Disponível em <https://iba.org/publicacoes>. Acesso em 26 jun. 2026.

MAEDA S.; COSTA, E.R.O.; SILVA, H.D. **Uso de resíduo da fabricação de celulose e papel e da reciclagem de papel**. Colombo - Embrapa Florestas. PR. 2010. ISSN 1679-2599

MAGESK, E. P.; SAGRILLO, V.P.D. Relatório ICPJ 4434 – Plano de Trabalho nº 8019 - Sigpesq Ifes. Iniciação Científica. **Desenvolvimento de Materiais Cimentantes sem Clínquer** (2018-2019) Ifes-Campus Vitória. Orientadora: Viviana Possamai Della Sgrillo. Edital 2018.

MEHTA, P.K.; MALHOTRA, V.M. **Pozzolanic and cementitious materials**. Vol.1. Amsterdam: Advances in concrete technology. 1996.

HASSAN, R., ABUSERRIYA, A., OSMAN, B.H. **Behavior evaluation of wood ash in concrete as partial replacement of cement in hot arid conditions**. Journal of Studies in Civil Engineering . 2025. 2 (2), p. 54–67. <https://doi.org/10.53898/jsce2025224>.

TOSTI. L; VAN ZOMEREN. A.; PELS. J. R.; DIJKSTRA. J.J; COMANS. R. **Chemosphere**. 2019.

May; 223: 425-437. DOI: 10.1016/j. Chemosphere. 2019.02.045. Epub 2019. Feb 11, 2019. PMID:30784749.

RESENDE, D.S. **Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentante suplementar**. Tese (Doutorado) Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Ouro Preto-UFMG-MG. 166p. 2013.

RODRIGUES, L.R.; RODRIGUES, E.R.; ALBANI, C.B.; REIS, A.S.; LOUZADA, D.M.; DELLA SAGRILLO, V.P. Resíduo do processo Kraft (dregs) como matéria-prima alternativa para cerâmica vermelha. **Cerâmica**. 65 (2019) 162-169 <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132019653732431>.

RODRIGUES, L.R.; DELLA SAGRILLO, V.P.; REIS, A.S. Efeito das condições de queima na estabilização de um resíduo rico em CaCO₃ em massa argilosa. **Cerâmica**. 66 (2020), 314-320. <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132020663792906>.

SOUZA, J.P.N. Revisão do processo de obtenção da celulose kraft e suas tecnologias. **Revista Ciencias Agrárias**. Vol. 28. Edição 134. Maio 2024. 2024.DOI: 10.5281/zenodo.1135194. <https://revistaft.com.br/revisao-do-processo-de-obtencao-da-celulose-kraft-e-suas-tecnologias/>

SNIC –Sindicato nacional da indústria do cimento. **Produção de cimento**. 2026. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-do-setor.php>. Acesso em 26 jun. 2026.

SUZANO, **Relatório de sustentabilidade – Resumo Estratégico** suzano.com.br/re2023. Disponível em: <https://www.suzano.com.br/sustentabilidade/relatorio-s-de-sustentabilidade>. Acesso em 25 jun. 2026.

SUZANO, **Relatório de sustentabilidade – Desempenho ambiental 2025**. Disponível em: <https://www.suzano.com.br/relatorios-de-sustentabilidade/relatorio-suzano-2025>. Acesso em 25 jun. 2026.