DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA GAÚCHA FRENTE A INDISPONIBILIDADE DE COPRODUTOS DA QUEIMA DO CARVÃO

Challenges and perspectives for the cement industry given the unavailability of by-products from coal combustion

Daniela Govoni Sotelo
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre, RS | danigovoni@gmail.com

Ruane Fernandes de Magalhães
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre, RS | ruane.magalhaes@gmail.com

Matheus Henrique Gomes de Medeiros
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre, RS | matheus96h@gmail.com

João Pedro Martins Bueno
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre, RS | jpedrobueno2004@gmail.com

Ana Paula Kirchheim
UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul | Porto Alegre, RS | anapaula.k@gmail.com

Resumo

A transição energética e o fechamento de Usinas Termelétricas impactam setores que utilizam subprodutos da queima de carvão, como a indústria cimenteira. Cinzas volantes, cinzas de fundo e gesso FGD são empregados na produção de cimento em alguns estados, contribuindo para a sustentabilidade do setor. A descontinuidade na geração de energia a carvão pode comprometer a economia circular e aumentar custos. Este estudo discute desafios e oportunidades da substituição desses insumos, incentivando debates sobre os impactos ambientais e econômicos da transição energética no setor cimenteiro.

Palavras-chave: Transição energética; Usinas termelétricas; Indústria cimenteira.

ABSTRACT

The energy transition and the closure of thermal power plants impact sectors that use byproducts from coal burning, such as the cement industry. Fly ash, bottom ash and FGD gypsum are used in cement production in some states, contributing to the sustainability of the sector. The discontinuation of coal-fired power generation can compromise the circular economy and increase costs. This study discusses the challenges and opportunities of replacing these inputs, encouraging debates on the environmental and economic impacts of the energy transition in the cement sector.

Keywords: *Energy transition; Thermoelectric power plants; Cement industry.*

1 INTRODUÇÃO

A transição energética e a busca por processos mais sustentáveis têm impulsionado mudanças significativas no setor industrial, especialmente nas cadeias produtivas que dependem de insumos provenientes da queima de combustíveis fósseis. No Rio Grande do Sul, por exemplo, a suspensão das atividades da Usina Termelétrica de Candiota III, em dezembro de 2024 (ANEEL, 2024), e o fechamento das demais existentes como a UTE Presidente Médici Fase A (Candiota) em 2017, Fase B (Candiota) em 2020, Charqueadas em 2016 e São Jerônimo em 2013, destaca o declínio da geração de energia a partir da queima do carvão no estado. Essas mudanças, alavancadas por políticas ambientais e compromissos internacionais de redução das emissões de carbono, representam um desafio para setores que utilizam subprodutos dessas usinas como matéria-prima, em mercados marginais.

Os resíduos da combustão do carvão incluem cinzas volantes, cinzas de fundo (ou pesadas), gesso de dessulfurização, escória de caldeira e outras partículas sólidas finas (ASOKAN et al., 2005; SAJWAN et al., 2006). Cabe lembrar que as cinzas volantes são geradas também em indústrias de papel, celulose e petroquímica, a partir do emprego de combustíveis de carvão mineral, para geração de vapor. Além das cinzas, as usinas termelétricas produzem uma quantidade considerável de gesso FGD (*Flue Gas Desulfurization gypsum*), adequado para a produção de cimento (LOPES, 2021) e particularmente interessante para o Rio Grande do Sul, que segundo o Ministério de Minas e Energia (2009), carece de depósitos significativos e economicamente viáveis de gipsita para sua exploração em larga escala. Considerando a importância dos subprodutos da queima do carvão, sugere-se que a indústria cimenteira esteja atenta à hipótese de ser impactada com o fechamento das usinas e outras usinas movidas a carvão, e avalie a novas perspectivas a médio e longo prazo. O uso de resíduos industriais tem sido uma estratégia amplamente adotada para reduzir a pegada de carbono e melhorar propriedades do cimento, como durabilidade e resistência, mas a descontinuidade na geração de energia a carvão pode comprometer a disponibilidade de matérias-primas.

Diante desse cenário, torna-se fundamental questionar que desafios e oportunidades emergem para a manutenção de uma produção sustentável. Este estudo não busca apresentar respostas definitivas, mas fomentar o debate e incentivar novas investigações acerca da disponibilidade de substitutos para os subprodutos da queima do carvão e os possíveis impactos ambientais e econômicos dessa transição.

2 METODOLOGIA

Através de dados fornecidos por plataforma organizada pelo IBAMA, considerando o período entre 2018 e 2023, buscou-se estruturar um panorama das fontes geradoras de subprodutos da queima do carvão no Rio Grande do Sul, procurando identificar materiais substitutivos de cinzas volantes e gesso de FGD e sua disponibilidade no estado. Diante do desaparecimento gradual das fontes geradoras de subprodutos da queima de carvão mineral, foram levantadas questões a serem respondidas em relação aos desdobramentos desse fato, do ponto de vista econômico, social e ambiental.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 SUBPRODUTOS DA QUEIMA DO CARVÃO MINERAL GERADOS DO RIO GRANDE DO SUL

A base de dados do IBAMA, referente aos resíduos gerados por indústrias do Rio Grande do Sul, permitiram identificar três principais fontes de cinzas volantes no estado, sendo possível ainda verificar tendências da geração de cinzas volantes e de gesso ao longo dos anos, conforme mostra a Figura 1.



Figura 1a: Gráfico mostrando a tendência de geração de cinzas volantes no RS.

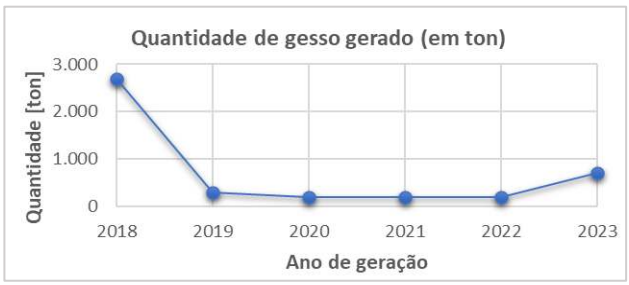

Figura 1b: Gráfico mostrando a tendência de geração de gesso no RS.

Candiota destaca-se como maior geradora de cinzas volantes do estado, tendo produzido 10 milhões de toneladas do material no período avaliado, o que representa cerca de 96% do total gerado e demonstra a relevância das UTEs para obtenção desse subproduto. Segundo a Companhia Riograndense de Mineração (CRM, 2020), o Rio Grande do Sul possui 90% das reservas de carvão mineral do Brasil, sendo que Candiota (RS) concentra 38% do carvão brasileiro. Dessa maneira, desde o início do século passado, várias usinas termelétricas (UTEs) a carvão funcionaram no Rio Grande do Sul, desempenhando papel crucial na matriz energética brasileira e na economia local. Além de fornecer eletricidade, essas usinas geram subprodutos, como as cinzas volantes e pesadas.

O município de Triunfo aparece como o segundo maior gerador de cinzas volantes, responsável por cerca de 255 mil toneladas. Triunfo é berço da Companhia Petroquímica do Sul (Copesul), a principal indústria petroquímica no estado, tendo sido privatizada em 1992 e, atualmente, pertencente ao Grupo Odebrecht – empresa Braskem.

Na terceira posição está o município de Guaíba, com uma geração de cerca de 145 mil toneladas de cinzas volantes. A região é polo da indústria de papel e celulose, sendo a Aracruz Celulose (atualmente Celulose

Riograndense, pertencente ao Grupo CMPC) a representante mais importante do setor no estado. Cabe ressaltar que a partir de 2024, a planta da empresa localizada em Guaíba passou a utilizar meios inovadores para geração de vapor, substituindo o carvão mineral por equipamentos a gás natural, deixando de produzir a cinza volante em seus processos (FEPAM, 2023).

Percebe-se que a geração de cinzas volantes (Figura 1a) está diretamente relacionada às estratégias energéticas adotadas no país no período. Verifica-se que houve uma tendência de redução na produção de cinzas entre 2018 e 2020, com o aumento da participação da energia eólica na matriz elétrica brasileira. Essa tendência foi interrompida em 2021, ano da maior crise hídrica do país nos últimos 90 anos, em que houve acionamento de emergência das usinas termelétricas para garantia nacional de disponibilidade de energia elétrica (IEMA, 2021). A tendência de redução foi novamente observada a partir de 2022, com a aplicação de estratégias progressivas de ampliação da participação de fontes renováveis na matriz elétrica do Brasil. Por conseguinte, a disponibilidade de cinzas volantes para a indústria do cimento é dependente de estratégias energéticas que se mostram contrárias às tendências de planejamento energético nacional, com a progressiva perda de concessão de usinas termelétricas e aumento de empreendimentos capazes de produzir energias com características renováveis no Brasil. Adicionalmente, verifica-se tendência semelhante em indústrias petroquímicas e de celulose, em que a queima de carvão mineral se mostra contrária às tendências de ESG e de atendimento a requisitos internacionais de sustentabilidade.

Na Figura 1b chama atenção o fato de que em 2018, a produção de resíduos de gesso era de 2.700 toneladas, sofrendo uma queda drástica no ano seguinte, quando passou a se manter entre 200 e 700 toneladas até 2023. No ano de 2018 a empresa que mais produziu esses resíduos foi a DURATEX S.A. (IBAMA), localizada na cidade de São Leopoldo. Foi responsável pela geração de 2.192,6 toneladas, o que representa mais de 80% dos resíduos de gesso gerados no RS naquele ano. Ocorre que em 2019 a Duratex fechou a fábrica em São Leopoldo da marca Deca (Jornal do Comércio, 2019), que fabricava louças para banheiros, cuja conformação era feita com moldes de gesso, segundo relatório da empresa. Esse acontecimento pode explicar, ao menos em parte, a diminuição repentina da produção de resíduos de gesso no estado, reforçando a importância de toda a cadeia produtiva para a indústria do cimento e para a circularidade da economia.

Utilizando dados publicados por Bibiano (2021) pode-se estimar que para cada tonelada de cinza volante, são gerados aproximadamente 150 kg de FGD. Analisando o total produzido por Candiota entre 2018 e 2023 (Figura 1a), pode-se inferir que cerca de 1,5 milhões de toneladas de FGD foram produzidas nesse período. Porém, em relação à quantidade de resíduos de gesso gerada do Rio Grande do Sul ao longo do tempo (Figura 1b), os dados mostram uma tendência de geração anual variando entre 500 e 1.000 toneladas de material, chegando ao total de apenas 4.300 toneladas em todo o período avaliado, o que pode indicar uma subnotificação ao IBAMA da quantidade de resíduos de gesso gerada no Rio Grande do Sul, especialmente considerando que esse quantitativo pode incluir diversas fontes de gesso, por exemplo: FGD gerado por UTEs, fosfogesso gerado por indústria de fertilizantes e resíduos de drywall da construção civil, podendo esses últimos preencher a lacuna deixada pela não produção de energia baseada na queima de carvão mineral.

3.2 SUBSTITUTIVOS DAS CINZAS VOLANTES

A substituição das cinzas volantes na indústria do cimento pode ser feita por diversos materiais, dependendo da disponibilidade regional e das características desejadas para o cimento. Tradicionalmente, alguns dos principais substitutos são as escórias de alto-forno, as pozolanas naturais, argilas calcinadas (metacaulim e outros tipos), e o calcário, havendo ainda boas oportunidades com cinzas de biomassa, resíduos de construção e demolição (RCD) processados.

As escórias de alto-forno são subprodutos da indústria siderúrgica, porém siderúrgicas com alto forno são inexistentes no Rio Grande do Sul. A ocorrência de pozolanas naturais é limitada, devido à ausência de depósitos vulcânicos recentes, que são as principais fontes desses materiais.

De acordo com Cruz (2012), o Rio Grande do Sul possui reservas significativas de argilas, especialmente nas regiões de Pântano Grande, Gravataí e Viamão, conhecidas pela qualidade de seus caulins. Essas argilas, quando submetidas ao processo de calcinação, podem adquirir propriedades pozolânicas, tornando-se adequadas para a produção de cimentos de baixo carbono, como o LC³ (Limestone Calcined Clay Cement). Pesquisas recentes, como a de Malacarne et al. (2021a) e Malacarne et al. (2021b), buscaram investigar a viabilidade técnica e ambiental de produzir cimentos LC³ com argilas do Rio Grande do Sul, demonstrando boas possibilidades.

Ruviaro (2024) avaliou a viabilidade técnica e ambiental de cimentos brancos LC³, observando que a redução das emissões de CO_2 e dos custos de produção é observada à medida que o percentual de substituição aumenta, sendo as composições com 60% de substituição as mais eficientes. Um estudo de Moreira (2025), utilizando 3 diferentes argilas de Ijaci-MG, mostrou maior ecoeficiência do LC³ que do cimento tradicional, apesar de ligeiras reduções na resistência mecânica. Santos et al. (2024) avaliaram o potencial de argilas

calcinadas portuguesas como substitutas do clínquer e os resultados indicam uma atividade pozolânica promissora, podendo reduzir significativamente as emissões de CO_2 e o consumo de matérias-primas na produção de cimento, incentivando ainda a adoção de práticas de economia circular.

Embora o uso de coprodutos como cinzas volantes e escórias esteja se tornando limitado, materiais como o calcário e argilas estão disponíveis em grandes quantidades para atender à alta demanda da produção de cimento, conforme demonstra Scrivener et al. (2018). Segundo Ribeiro et al., para ser utilizado, o calcário precisa passar por uma moagem simples. Enquanto isso, as argilas calcinadas requerem uma temperatura mais baixa (cerca de ~700 °C) para atingir uma reatividade pozolânica satisfatória, em contraste com as altas temperaturas necessárias para a produção de clínquer (~1450 °C). Estudos de Antoni et al. (2012) e Avet e Scrivener (2018) demonstram que, quando combinados, calcário e argilas calcinadas exibem efeitos comparáveis aos do cimento Portland comum, tornando-se uma alternativa viável para a produção de LC³, que são mais sustentáveis.

A inclusão de calcário nos cimentos já é uma prática mundialmente adotada, com um teor médio de 7% (JOHN et al., 2018). No Brasil provavelmente não há cimento sem calcário, as novas demandas poderão exigir o entendimento do impacto do incremento de teores na reologia e resistência dos cimentos em primeiras idades. John et al. (2018) propõem que até 70% do clínquer pode ser substituído por filler calcário, mantendo concretos com boas propriedades.

Resíduos da queima de casca de arroz, bagaço de cana e outros biomateriais geram as cinzas de biomassa, cuja disponibilidade no Rio Grande do Sul está diretamente relacionada às atividades agroindustriais e florestais predominantes no estado. A maior produção de arroz do Brasil se concentra no Rio Grande do Sul, que responde por quase 70% do total da safra nacional em 2023/2024, que foi de 10,5 milhões de toneladas no país (CONAB, 2018). Cerca de 1,4 milhões de toneladas de casca são geradas, uma vez que, conforme Muraro (2018), representam cerca de 20% do peso do arroz produzido. Vários estudos, entre eles os de Ozturk et al. (2022), Fapohunda et al. (2017), Cordeiro et al. (2009), Cordeiro et al. (2011) e Cordeiro et al. (2012) comprovam a viabilidade técnica do uso da CCA como substituto de clínquer, mas este procedimento ainda não é utilizado no Brasil. O estado do RS possui ainda extensas áreas de reflorestamento de eucalipto e pinus, destinadas à produção de celulose, papel e madeira. A combustão dos resíduos dessas madeiras gera cinzas de biomassa florestal, conforme mostram os estudos de Paula (2009), Silva et al. (2015) e França et al. (2016).

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) processados apresentam-se como mais uma alternativa, sendo objeto de estudo de diversos trabalhos, como os de Borges et al. (2025) e Oliveira et al. (2024). Tratam-se de materiais como concreto e tijolos triturados para uso como adições pozolânicas. A escolha de material adequado para a indústria de cimentos dependerá de fatores como disponibilidade regional, custo, compatibilidade química e impacto ambiental da sua produção e transporte.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descontinuidade na geração de subprodutos da queima do carvão mineral, como consequência de políticas voltadas a descarbonização da matriz energética, ainda é pouco discutida e deixa questões em aberto, cuja reflexão é fundamental para que pesquisadores, indústrias e formuladores de políticas públicas possam discutir alternativas sustentáveis e economicamente viáveis diante dessa nova realidade. Eis algumas perguntas que podem estimular novos estudos e debates sobre o futuro da indústria cimenteira:

- Há resíduos industriais alternativos disponíveis no Rio Grande do Sul que possam substituir os subprodutos da queima de carvão mineral de forma técnica e economicamente viável? Quais seriam os impactos ambientais de um possível aumento no uso de clínquer na produção de cimento, caso não haja alternativas locais viáveis?
- Possíveis custos ambientais encarados pela indústria do cimento devido a não disponibilidade de matérias-primas poderão ser maiores que a descarbonização causada pelo fechamento de UTEs? Até que ponto o fechamento de usinas termelétricas a carvão traz vantagens econômicas e ambientais?
- A dependência de matérias-primas de fora do RS para a produção de cimento pode comprometer a competitividade da indústria cimenteira do estado a longo prazo? Como os indicadores ambientais da indústria do cimento serão afetados?
- O fechamento das UTEs a carvão pode incentivar a adoção de novas tecnologias e inovações na indústria cimenteira?
- Há oportunidades de políticas públicas que possam mitigar os impactos dessa transição para o setor cimenteiro e para as comunidades afetadas, promovendo um modelo de economia circular mais robusto?

5 AGRADECIMENTOS

À FAPERGS, que financia esse estudo através dos projetos CLIMACIMENTO (24/2551-0002121-3) e ECOCIM (24/2551-0001926-0).

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Nota técnica Nº 183/2024 - SFT/ANEEL. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ndsp20242586.pdf

ANTONI, M.; ROSSEN, J.; MARTIRENA, F.; SCRIVENER, K. Cement substitution by a combination of metakaolin and limestone, **Cement and Concrete Research**, Volume 42, Issue 12, 2012, Pages 1579-1589, ISSN 0008-8846, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.09.006.

ASOKAN, P.; SAXENA, M.; ASOLEKAR, S. R. Coal combustion residues - Environmental implications and recycling potentials. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 43, p. 239–262, 2005.

AVET, F.; SCRIVENER, K. Investigation of the calcined kaolinite content on the hydration of Limestone Calcined Clay Cement (LC3**), Cement and Concrete Research**, Volume 107, 2018, Pages 124-135, ISSN 0008-8846, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.02.016.

BIBIANO, Ramiro Hiroito das Neves. Estudo da viabilidade da adição de cinzas sulfatadas geradas em usina termoelétrica a carvão em matrizes cimentícias. 2021. 16 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN-CNEN. São Paulo. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-28012022-155351/publico/2021BibianoEstudo.pdf

BORGES, Pietro Moraes; ROTHER, Lucas Anthony; DA SILVA, Sérgio Roberto; POSSAN, Edna; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Environmental and technical assessment of mortars produced with recycled aggregate from construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 467, p. 140407, 2025.

Companhia Riograndense de Mineração. Carvão Mineral: Desenvolvimento e Industrialização. 2020. Disponível em: https://crm.rs.gov.br/carvao-mineral-desenvolvimento-e-industrializacao-5f072748840e3

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.. Use of ultrafine rice husk ash with high-carbon content as pozzolan in high performance concrete**. Materials and Structures**, v. 42, p. 983-992, 2009.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M. FAIRBAIRN, E. M. R.; HEMPEL, S.. Influence of particle size and specific surface area on the pozzolanic activity of residual rice husk ash. **Cement & Concrete Composites**, v. 33, p. 529-534, 2011.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; TAVARES, L. M.; FAIRBAIRN, E. M. R.. Experimental characterization of binary and ternary blended-cement concretes containing ultrafine residual rice husk and sugar cane bagasse ashes. **Construction & Building Materials**, v. 29, p. 641-646, 2012.

CRUZ, R. T.; BERGMANN, C. P.; BRAGANÇA, S. R. Caracterização tecnológica da argila plástica de Pântano Grande, RS. Cerâmica 58 (345) 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0366-69132012000100011

CRM – Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Arroz total: Série Histórica de Produção. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/900-arroz

DURATEX. Gestão de resíduos nas unidades Deca. Disponível em: https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/uploads/2014/05/gestao-de-residuos-nas-unidades-da-deca.pdf

FAPOHUNDA, Christopher; AKINBILE, Bolatito; SHITTU. Structure and properties of mortar and concrete with rice husk ash as partial replacement of ordinary Portland cement – A review**, International Journal of Sustainable Built Environment**, Volume 6, Issue 2, 2017, P. 675-692, ISSN 2212-6090. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.07.004

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Fepam emite nova Licença de Operação para a CMPC Celulose Riograndense. 2023. Disponível em: https://www.fepam.rs.gov.br/fepam-emite-nova-licenca-de-operacao-para-a-cmpc-celulose-riograndense.

FRANÇA, D. F. S.; REY, R. O.; FERREIRA, L. R. C.; RIBEIRO, D. V. Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 153-166. 2016.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Tabela de resíduos não perigosos. 2025.Alimentada e disponível para empresas com licenciamento ambiental (fornecida pela Fundação PROAMB).

IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente. Crise hídrica, termelétricas e renováveis Considerações sobre o planejamento energético e seus impactos ambientais e climáticos. 2021. Disponível em: https://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2021/09/IEMA_crisehidricatermeletricas.pdf

JOHN, Vanderley M.; DAMINELI, Bruno L.; QUATTRONE, M. PILEGGI, Rafael G.. Fillers in cementitious materials — Experience, recent advances and future potential. **Cement and Concrete Research**. Volume 114, 2018, Pages 65-78. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.09.013 .

Jornal do Comércio. Duratex fecha fábrica e demite quase 500 pessoas no Rio Grande do Sul. 2019. Disponível em: https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/economia/2019/07/691230-duratex-fecha-fabrica-e-demite-quase-450-pessoas-no-rio-grande-do-sul.html

LOPES, D.F.; DA SILVA, F. N. Avaliação das propriedades de argamassas cimentícias com adição de resíduos da geração termoelétrica. **Matéria** (Rio J.) 26 (04). 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1517-707620210004.1300

MALACARNE, C; SILVA, M. R.; DANIELI, S.; MACIEL, V. G.; KIRCHHEIM, ANA P. Environmental and technical assessment to support sustainable strategies for limestone calcined clay cement production in Brazil. **Construction and Building Materials**, v. 310, p. 1-11, 2021.

MALACARNE, C.S.; LONGHI, M.A.; SILVA, M.R.C.; GONÇALVES, J.P.; RODRÍGUEZ, E.D.; KIRCHHEIM, A.P. Influence of low-grade materials as clinker substitute on the rheological behavior, hydration and mechanical performance of ternary cements. **Case Studies In Construction Materials,** v. 15, p. e00776, 2021.

MATHIEU, Y.; TZANIS, L.; SOULARD, M.; PATARIN, J.; VIERLING, M.; MOLIÈRE, M. Adsorption of SOx by oxide materials: A review. **Fuel Processing Technology**, v. 114, p. 81–100, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378382013001239

Ministério de Minas e Energia – MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral-SGM. Relatório Técnico 34: Perfil da Gipsita. 2009. Disponível em: https://antigo.mme.gov.br/documents/36108/448620/P24_RT34_Perfil_da_Gipsita.pdf/

MOREIRA, G.; MIRANDA DE SOUZA, A.; ELÓI, F.P. da F.; SILVA, G. J. B.; OLIVEIRA, D. S. de; FRANCO DE CARVALHO, J. M. Study of the use of LC3 cements containing different calcined clays and fillers. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 25, e139994, jan./dez. 2025. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212025000100859

MURARO, P.; CAMELO, C. O.; DENIS, F.A. Aproveitamento e valorização da casca de arroz: uma revisão bibliométrica. **VI Simpósio d Ciência do Agronegócio**. Porto Alegre: 2018. Disponível em: https://www.ufrgs.br/cienagro/wp-content/uploads/2018/10/Aproveitamento-e-Valoriza%C3%A7%C3%A3o-da-Casca-de-Arroz-CA_Uma-Revis%C3%A3o-Bibliom%C3%A9trica-Caeverton-Camelo.pdf

OLIVEIRA, Dayana Ruth Bola; PROENÇA, Melissa Pastorini; MARQUE FILHO, José Marques; POSSAN, Edna. Mixed construction and demolition powder as a filler to Portland cement: study on packaged paste. **Ambient. constr**. 24. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1590/s1678-86212024000100715.

OZTURK, Ece; INCE, Ceren; DEROGAR, Shahram; Richard BALLI. Factors affecting the CO2 emissions, cost efficiency and eco-strength efficiency of concrete containing rice husk ash: A database study. **Construction and Building Materials**, Volume 326, 2022, 126905, ISSN 0950-0618. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126905.

PAULA, M. O. D. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. 2009. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RIBEIRO, F. R. C.; SILVESTRO, L.; PY, L. G.; SAKATA, R. D.; GLEIZE, P. J. P.; CAMPOS, C. E. M.; MATOS, P. R.; KIRCHHEIM, A. P. Assessing hydration kinetics and rheological properties of Limestone Calcined Clay Cement (LC3): Influence of clay-mitigating and superplasticizer admixtures. **Case Studies in Construction Materials**, Volume 20, 2024, ISSN 2214-5095, https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03364.

RUVIARO, Artur Spat. **Desenvolvimento de cimentos brancos LC° com elevados percentuais de argila calcinada e filer calcário: Mecanismos de hidratação e avaliação ambiental**. 158 p. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2024.

SAJWAN, K.S.; PUNSHON, T.; SEAMAN, J.C..Production of coal combustion products and their potential uses. ***Coal combustion byproducts and environmental issues***. p. 3–9. *In* K.S.Springer, New York.2006.

SANTOS, K. F.; SANTOS, S.; VIEIRA, M.; SILVA, A. S.; PEDERNEIRAS, C. M. Promoting Sustainability in the Cement Industry: Evaluating the Potential of Portuguese Calcined Clays as Clinker Substitutes for Sustainable Cement Production. **Sustainability** 2024, 16, 10365. https://doi.org/10.3390/su162310365. Acesso em: junho de 2025.

SCRIVENER, K.; MARTIRENA, F.; BISHNOI, S.; MAITY, S. Calcined clay limestone cements (LC3), **Cement and Concrete Research**, Volume 114, 2018, Pages 49-56, ISSN 0008-8846, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017.

SILVA, R. B.; FONTES, C. M. A.; LIMA, P. R. L.; GOMES, O. da F. M.; LIMA, L. G. L. M.; MOURA, R. C. de A.; TOLEDO FILHO, R. D. Cinzas de biomassa geradas na agroindústria do cacau: caracterização e uso em substituição ao cimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 321-334, out./dez. 2015.