ENARC
FOZ DO IGUAÇU-2023

# AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM ADIÇÕES DE DREGS

## Evaluation of mortars properties with addition of dregs

**Juliane Rodrigues Falcão**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Porto Alegre, RS| falcao.juliane1@gmail.com

**Júlia da Rosa Costa**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Porto Alegre, RS| juliadarcosta@hotmail.com

**Leonardo Marquezan de Oliveira**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Porto Alegre, RS| leomarquezan@outlook.com

**Ângela Borges Masuero**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Porto Alegre, RS| angela.masuero@ufrgs.br

**Denise Carpena Coitinho Dal Molin**
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) | Porto Alegre, RS| dmolin@ufrgs.b

### Resumo

*O crescimento populacional acelerado em conjunto com o alto consumo de recursos naturais solicita pesquisas voltadas a reutilização de resíduos. Dessa forma, o artigo desenvolve um estudo acerca da análise de propriedades de argamassas com a adição (0%, 7,5% e 15%) do resíduo Dregs, comparadas a uma mistura de referência. As argamassas foram ensaiadas no estado fresco, por meio das técnicas de índice de consistência e densidade de massa, e no estado endurecido através da absorção de água, resistências mecânicas, módulo de elasticidade dinâmico e densidade de massa, e quanto a expansibilidade pelo ensaio de reação álcali-agregado. A partir dos resultados, observa-se que todas as argamassas possuem características semelhantes e apresentam expansão superior ao permitido pela norma aos 30 dias. Ainda, a adição do resíduo proporcionou, em diversos ensaios, a melhoria das propriedades em relação a referência. Sendo assim, identifica-se potencial de reaproveitamento do resíduo no âmbito do estudo.*

**Palavras-chave:** Adição; Argamassa; Dregs; Indústria de celulose.

### ABSTRACT

*Accelerated population growth coupled with the high consumption of natural resources highlights the need for research aimed at the reuse of waste. Thus, the article develops a study about the analysis of properties of mortars with the addition (0%, 7.5%, and 15%) of Dregs waste, compared to a reference mixture. The mortars were tested in the fresh state, using workability and mass density techniques, and in the hardened state through water absorption, mechanical resistance, dynamic modulus of elasticity and mass density, and in terms of expandability through the test of alkali-aggregate reaction. From the results, it is observed that all mortars have similar characteristics and present expansion superior to that allowed by the standard at 30 days. Still, the addition of the residue provided, in several tests, the improvement of the properties to the reference. Therefore, the potential for reuse of waste within the scope of the study is identified.*

**Keywords:** Addition; Mortar; Dregs; Pulp Mill.

# 1 INTRODUÇÃO

Segundo estimativa da Organização das Nações Unidas, até 2080, o número de habitantes no planeta deve alcançar a marca de 10,4B (ONU, 2023). Este crescimento populacional fomentará o consumo de recursos naturais e, consequentemente, a geração de resíduos. Com base nessas premissas, foi instituída no Brasil, em 2 de agosto de 2010, a Lei nº12.305 que infere a respeito da Política Nacional de Resíduos Sólidos. (BRASIL, 2010).

Para alcançar o desenvolvimento sustentável e o cumprimento das legislações ambientais, três ações são princípios fundamentais para o não comprometimento das necessidades das gerações futuras: diminuir o consumo, reutilizar e reciclar (DAL MOLIN, 2016). É notório que dentre essas alternativas, muitas vezes é inviável a aplicação da primeira opção, por isso é de suma importância que se estudem e se pratiquem a reutilização e a reciclagem de resíduos.

A indústria da construção civil, responsável pelo consumo de aproximadamente 50% da matéria-prima do planeta (JOHN, 2001), apresenta-se como uma ótima opção para o reaproveitamento de subprodutos gerados em processos industriais (JOHN; ZORDAN, 2001; MASUERO; VILELA; DAL MOLIN, 2004; FRÍAS; VILLAR; SAVASTANO, 2011). Nesse contexto, a indústria da celulose brasileira, que em 2020 teve uma produção de cerca de 17,3 Mt de celulose (IBÁ, 2021; FAO, 2021), gera, devido a processo *Kraft*, adotado para a produção de celulose, diversos resíduos que necessitam melhor destinação e, dentre esses, destaca-se o Dregs.

Já abordado por diversas pesquisas, esse resíduo apresenta uma geração representativa e sinaliza possibilidade de reaproveitamento (TORRES, 2016; RODRIGUES *et al.,* 2019), contudo, o alto potencial de reutilização é questionado visto o alto teor de álcalis ($Na_2O$, $K_2O$) presentes na composição química que pode propiciar a ocorrência de reações expansivas em matrizes cimentícias, em especial as do tipo álcali-agregado (MYMRIN *et al.,* 2017; RIBEIRO DOS SANTOS *et al.,* 2019; RODRIGUES *et al.,* 2019).

A fim de avaliar a viabilidade da reutilização do resíduo Dregs, este trabalho, propôs a produção de argamassas de revestimento com a adição de diferentes teores de incorporação de Dregs. Os sistemas propostos foram submetidos à ensaios de caracterização de argamassas, em estado fresco e em endurecido, e de expansibilidade, através do ensaio de reação álcali-agregado (RAA) (ABNT, 2018a), para detectar essa possível tendência reativa provocada pela adição desse resíduo.

# 2 MATERIAIS

## 2.1 RESÍDUO DA INDÚSTRIA DE CELULOSE – DREGS

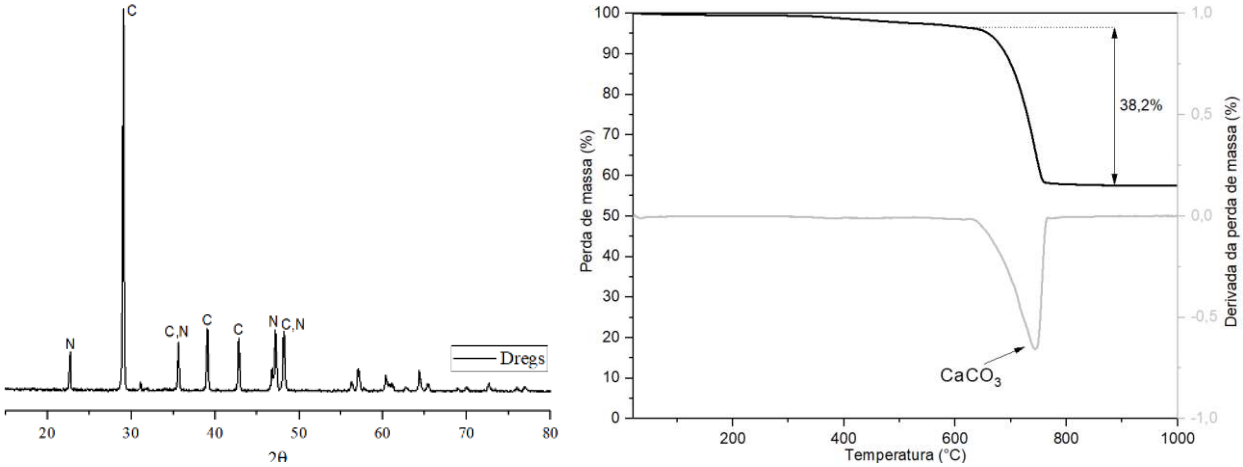
O resíduo utilizado na presente pesquisa foi disponibilizado por uma indústria de celulose da região Sul do Brasil. Coletado na fábrica, esse foi seco em estufa a 100±5 °C por 24 horas. O resíduo apresentava coloração cinza escura, granulometria fina, com poucos torrões, e umidade de 5,6%. Após a secagem, foi desaglomerado manualmente, com auxílio de pistilo e do almofariz de porcelana, e peneirado em malha 0,15 mm (Figura 1). O ensaio de granulometria a laser e BET demonstraram um diâmetro médio das partículas de 24,81 μm e uma área superficial de 5,019 m²/g.

**Figura 1:** (a) Antes da desaglomeração e (b) após a desaglomeração



O ensaio de Difração de Raios-X (DRX) demonstrou que o resíduo é formado majoritariamente por carbonato de cálcio ($CaCO_3$) com a possível presença de nitrato de sódio ($NaNO_3$) (Figura 2a). A partir da análise termogravimétrica, nota-se um pico principal entre 600 e 800 ºC, possivelmente relacionado a decomposição do $CaCO_3$ (Figura 2b).

**Figura 2:** (a) Difratograma (C: $CaCO_3$; N: $NaNO_3$) e (b) Termogravimetria




## 2.2 CIMENTO E AGREGADO MIÚDO

O cimento Portland (CP), escolhido em virtude da elevada pureza, foi o CP V – ARI (ABNT, 2018b). O agregado miúdo, proveniente de extração natural e disponibilizado por uma empresa do estado de Santa Catarina, foi separado em diferentes frações granulométricas, conforme solicitado pela NBR 15577- 4 (ABNT, 2018a), a fim de se possibilitar a realização dos ensaios de caracterização e de reatividade álcali-agregado.

# 3 MÉTODOS

## 3.1 SISTEMAS PROPOSTOS

Para a execução dos ensaios, foram moldadas três argamassas com diferentes teores de adição de resíduo. Com proporção em massa de 1:2,25 e relação água cimento fixa de 0,47, os sistemas propostos, e a respectiva porcentagem de adição de resíduo em relação a massa de cimento, são apresentados na Tabela 1. A mistura e produção das argamassas sucedeu-se de acordo com os parâmetros normativos da NBR 15577 - 4 (ABNT, 2018a).

**Tabela 2:** Porcentagem de adição de resíduo nos sistemas

| Nomenclatura do sistema | REF | 7,5D | 15D |
|---|---|---|---|
| Adição de resíduo em relação a massa de CP (%) | 0 | 7,5 | 15 |

## 3.2 CARACTERIZAÇÃO E REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO

Para caracterizar as propriedades das argamassas com adição de resíduo aos 28 dias, os sistemas foram submetidos aos ensaios sugeridos pela ABNT NBR 13281-1 (ABNT, 2023). No estado fresco, executaram-se os ensaios de densidade de massa (ABNT, 2005a) e de índice de consistência (ABNT, 2016). No estado endurecido, as argamassas foram avaliadas mediante os ensaios de densidade de massa (ABNT, 2005b), de módulo de elasticidade dinâmico (ABNT, 2008), de resistência mecânica à tração na flexão e à compressão (ABNT, 2005c) e de absorção de água por capilaridade (ABNT, 2005d). O ensaio de reação álcali-agregado (RAA) dos sistemas seguiu os parâmetros normativos da NBR 15577-4 (ABNT, 2018a).

# 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 4.1 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

A partir da análise dos dados da Tabela 2, pode-se inferir que a utilização do resíduo dregs tende a promover uma diminuição no índice de consistência e aumento na densidade de massa no estado fresco.

**Tabela 2:** Índice de consistência e densidade de massa

| | REF | 7,5D | 15D |
|---|---|---|---|
| **Índice de Consistência (mm)** | 24,83 | 24,50 | 24,67 |
| **Densidade de massa (kg/m³)** | 2176,65 | 2228,88 | 2248,29 |

## 4.2 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

A Tabela 3 apresenta os resultados referentes aos ensaios de densidade de massa e coeficiente de capilaridade.

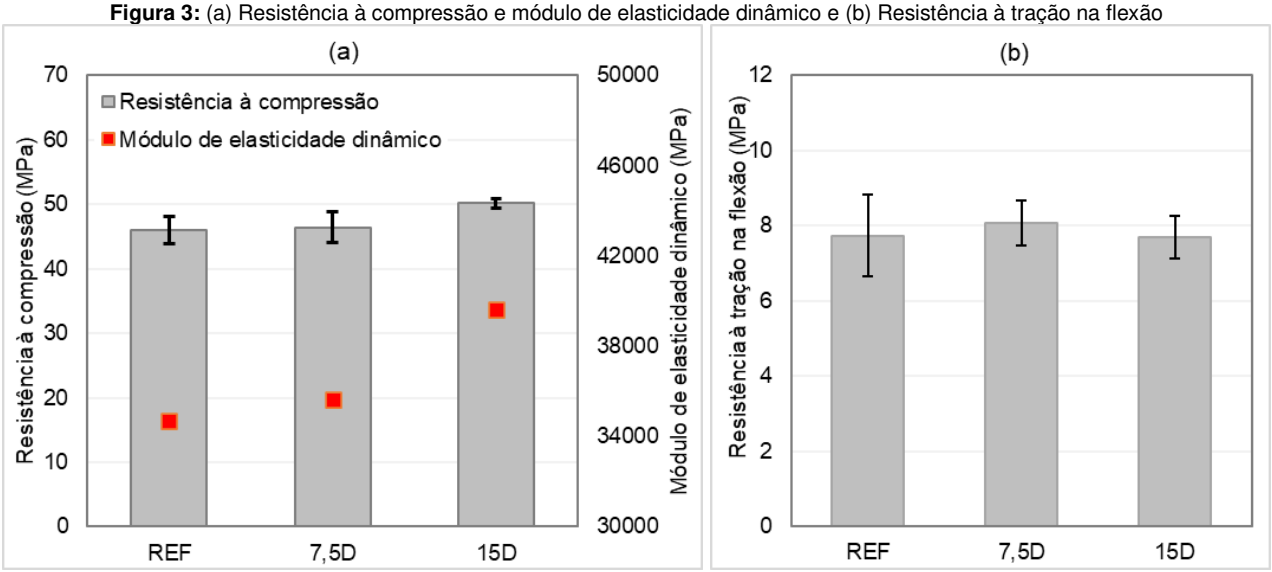
**Tabela 3:** Densidade de massa e coeficiente de capilaridade

| | REF | 7,5D | 15D |
|---|---|---|---|
| **Densidade de massa (kg/m$^3$)** | 2074,9 ± 33,39 | 2113,8 ± 10,20 | 2147,9 ± 21,75 |
| **Coeficiente de capilaridade (g/dm$^2$.min$^{1/2}$)** | 3,41 ± 0,49 | 3,66 ± 0,04 | 3,02 ± 0,23 |

Devido a fina granulometria do resíduo, evidenciaram-se maiores valores de densidade de massa para os sistemas com adições de Dregs. No entanto, ressalta-se que essas diferenças numéricas foram bastante próximas. Em relação ao coeficiente de capilaridade, nota-se que o sistema 15D apresentou valor 11,3% inferior ao resultado do sistema de referência.

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de resistência mecânica e módulo de elasticidade dinâmico. O sistema 15D apresentou maior resistência mecânica à compressão, na ordem de 9,0% em relação a REF, e maior módulo de elasticidade dinâmico. Isso ocorre, provavelmente, devido ao preenchimento de vazios, que a elevada finura desse resíduo possibilitou. Os resultados dos ensaios de densidade de massa no estado endurecido corroboram com essa hipótese. No mesmo sentido, o sistema 7,5D demonstrou um ganho de 0,9% em relação ao REF.

**Figura 3:** (a) Resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico e (b) Resistência à tração na flexão



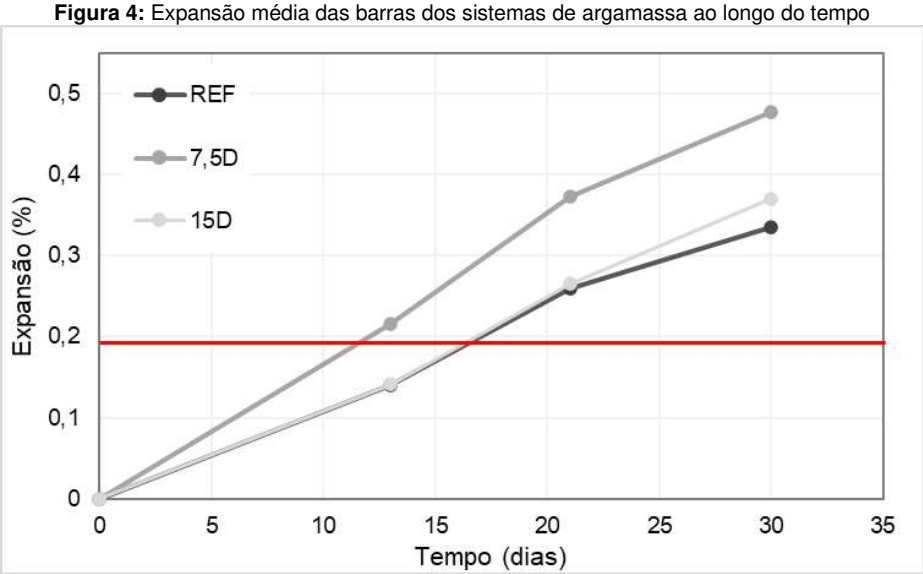

Para o ensaio de resistência à tração na flexão, é possível observar grande similaridade entre os valores encontrados para todos os sistemas avaliados, contudo, a ligeira redução de resistência que se nota, proporcional a adição de resíduos está em consonância com a bibliografia (Alvarenga *et al.,* 2022; Oliveira Jr. *et al.,* 2019; Martínez-Lage *et al.,* 2016).

## 4.3 REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO

Através da análise da Figura 4, observa-se que a incorporação do resíduo elevou a reatividade e promoveu maior expansibilidade das argamassas frente ao contato com a solução alcalina em elevada temperatura. O sistema com adição de 7,5% de Dregs apresentou maior expansibilidade que os demais após o período de ensaio. Diferentemente do esperado, o aumento do teor de adição de resíduo nas argamassas não elevou a reatividade dessas, uma vez que o sistema com 15% de incorporação de resíduo registrou expansibilidade inferior ao sistema com 7,5% de adição. Esse comportamento expansivo inversamente proporcional a adição de resíduo também fora registrada em estudos anteriores nas avaliações de outros resíduos como a cinza de casca de arroz (ANDRADE *et al*., 1993; HASPARIK, 1999; SILVEIRA, 2007).

Ressalta-se que o agregado miúdo também apresentou comportamento reativo, uma vez que o sistema de referência apresentou valores de expansibilidade superiores aos limites normativos. Dessa forma, de acordo com a Tabela 2 do item 5.3 da NBR 15577-1 (ABNT, 2018c), o agregado miúdo natural empregado no ensaio, classifica-se como “potencialmente reativo grau R1”, visto que apresentou expansão entre 0,19% e 0,40% aos 30 dias. Esse fator pode ter contribuído para a amplificação dos valores de expansão verificados nos sistemas com adição de resíduos.

**Figura 4:** Expansão média das barras dos sistemas de argamassa ao longo do tempo




A análise de variância (ANOVA), com confiabilidade de 95%, identifica que há diferença significativa entre o fator controlável (adição) e a variável de resposta (expansão) aos 30 dias (Tabela 4).

**Tabela 4:** Análise de variância

| Efeito | Soma Quadrada | Graus de Liberdade | Média Quadrada | Teste F | Probabilidade | Influência Significativa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Adição | 0,03279 | 2 | 0,016395 | 31,15 | 0,000678 | Sim |
| Erro | 0,003158 | 6 | 0,000526 | | | |

O teste de comparação múltipla de médias (Tabela 4) pelo método de Fisher demonstrou que, entre o sistema com 15% de adição de Dregs e a referência não há, estatisticamente, diferença significativa. No entanto, foi observada diferença significativa quando comparado o sistema com adição de 7,5% em relação aos demais sistemas.

**Tabela 4:** Análise múltipla de médias

| | Amostra | {1} | {2} | {3} |
|---|---|---|---|---|
| 1 | REF | | S | NS |
| 2 | 7,5D | S | | S |
| 3 | 15D | NS | S | |

## 5 CONCLUSÃO

O reaproveitamento e a reciclagem de resíduos mediante a incorporação em materiais da indústria da construção civil são essenciais para reduzir a extração de matérias-primas e dar destinação adequada à materiais que atualmente encontram-se em desacordo com as políticas de aproveitamento de resíduos.

Como já constatado em pesquisas anteriores, os resultados deste trabalho sinalizam a possibilidade do emprego do resíduo proveniente do processo de *Kraft* da indústria de celulose na produção de argamassas e concretos. Viável, a adição de Dregs pode promover benefícios, uma vez que é capaz de melhorar certas propriedades de materiais cimentícios.

Em teores mais elevados de Dregs (15%), as argamassas apresentaram valores de resistência mecânica à compressão e de módulo de elasticidade dinâmico superiores ao sistema de referência, indicando que essa a adição pode ser capaz de amplificar o desempenho mecânico de argamassas.

Com relação ao ensaio de reatividade álcali-agregado, constatou-se a esperada expansibilidade que o resíduo acarretaria a argamassa frente ao meio reativo, contudo, é destacável que o aumento do teor de incorporação de resíduos tenha reduzido o comportamento expansivo em comparação a teores inferiores.

Por fim, ressalta-se que o inesperado emprego de um agregado miúdo reativo na produção dos sistemas de argamassa, não fora o mais adequado a fim de inferir a respeito do comportamento expansivo dos resíduos. Sendo assim, sugerem-se novos estudos em relação ao aproveitamento de Dregs em argamassas, em especial, fazendo o emprego de agregados não reativos e propondo a incorporação de um maior leque de teores de adição desses resíduos, bem como de outros tipos de cimento Portland.

## REFERÊNCIAS


ANDRADE, W.P.; SANTOS, M.C.; FONTOURA, J.T.F. **Estudo da Atividade Pozolanica da Cinza de Casca de Arroz.** Furnas Centrais Elétricas S.A. Relatório DCT. T.1.055.93-R0, Laboratório de Concreto, Goiânia, 1993.

ALVARENGA, Bruno *et al.* Avaliação das propriedades de argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por resíduos da indústria de celulose. In: CONGRESSO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 2022, Brasília. **Anais [...].** 2022: UnB, 2022.

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, 2005a.

**_____.NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.

**_____.NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005c.

**_____.NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

**_____.NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

**_____.NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

**_____.NBR 15577-4**: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado. Rio de Janeiro: ABNT, 2018a.

**_____.NBR 16697**: Cimento Portland: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018b.

**_____.NBR 15577-1**: Agregados — Reatividade álcali-agregado **-** Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2018c.

BRASIL. Lei N° 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Publicação - Diário Oficial da União de 03 de agosto 2010**, 2010.

DAL MOLIN, D. C. C. *et al.* "Metodologia para Avaliação do Potencial Deletério de Resíduos em Matrizes Cimentícias: Contribuição à Norma de Desempenho." In: **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade. ANTAC.** cap. 4, p. 77-116, 2016.

OLIVEIRA JR. *et al.* The influence of partial replacement of natural sand aggregates by grits residues on the mechanical properties of an ecological mortar. **Journal of Building Engineering**, v. 26, p. 100912, 2019.

FRÍAS, M.; VILLAR, E.; SAVASTANO H. Brazilian sugar cane bagasse ashes from the cogeneration industry as active pozzolans for cement manufacture. **Cement & Concrete Composites**, v. 33, p. 490-496, 2011.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Online data FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Acesso em: 19/11/2022. FAO, 2021.

HASPARYK, N.P. **Investigação dos Mecanismos da Reação Álcali-Agregado – Efeito da cinza de casca de arroz e sílica ativa.** 1999. 257p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Goiânia. Goiânia-GO, 1999, 257p.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual IBÁ 2021.** Disponível em: <https://www.iba.org/publicacoes >. Acesso em: 19/11/2022. IBÁ, 2021.

JOHN, V. M. "Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção." In: **Carneiro, A. P., Brum, I. A. S., Cassa, J. C.S. (ORG). Reciclagem de resíduo para a produção de materiais de construção. Projeto resíduo bom.** Salvador: Caixa Econômica Federal. 2001.

JOHN, V. M.; ZORDAN, S. E. Research & development methodology for recycling residues as building materials - a proposal. **Waste Management (Elmsford)**, Londres, v. 21, p. 213-219, 2001.

MARTÍNEZ-LAGE, Isabel *et al.* Concretes and mortars with wastepaper industry: Biomass ash and dregs. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 181, p. 863–873, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.06.052.

MASUERO, A. B.; VILELA, A. C.; DAL MOLIN, D. Emprego de escórias de aciaria elétrica como adição a concretos. **Revista ambiente construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 2p. 57 – 81, abr./jun. ISSN 1415-8876, 2004.

MYMRIN, Vsevolod *et al.* Efficient application of cellulose pulp and paper production wastes to produce sustainable construction materials. **Construction and Building Materials**, v.263, p.120604, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120604.

Organização das Nações Unidas (ONU). **O que significa viver em um planeta com 8 bilhões de pessoas,** 2023. Disponível em: < https://news.un.org/pt/story/2023/01/1808082>. Acesso em 03/03/2023.

RIBEIRO DOS SANTOS, Verônica *et al.* Green liquor dregs and slaker grits residues characterization of a pulp and paper mill for future application on ceramic products. **Journal of Cleaner Production**, v. 240, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118220.

RODRIGUES, L. R. *et al.* Resíduo do processo Kraft (dregs) como matéria-prima alternativa para cerâmica vermelha. **Cerâmica**, v. 65, p. 162-169, 2019.

SANTOS, Verônica *et al.* Green liquor dregs and slaker grits residues characterization of a pulp and paper mill for future application on ceramic products. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 240, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118220.

SILVEIRA, A. A. **Contribuição ao estudo do efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos submetidos à reação álcali-agregado.** 2007. 227 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2007.

TORRES, C. M. M. E. **Incorporação de dregs e grits de fábricas de polpa celulósica kraft ao clínquer para a produção de cimento Portland.** 2016. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.