




# ANÁLISE EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS UTILIZANDO RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE CELULOSE (DREGS E GRITS)

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081118

**ALVARENGA; BRUNO MEDEIROS DE[1]; FALCÃO; JULIANE RODRIGUES[1]; TESSARO; ALESSANDRA BUSS[1]; MATTOS; FLÁVIA COSTA DE[1]**
[1]UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE (FURG).
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: BR.M.ALVARENGA@GMAIL.COM

**RESUMO:** Este trabalho visa analisar traços de argamassas com a incorporação de resíduos provenientes da indústria de celulose (dregs e grits). A caracterização dos resíduos foi realizada através da difração de raios X, granulometria de difração a laser e microscopia eletrônica de varredura. Foi feita a substituição parcial do agregado miúdo no teor 10% e, aos 7, 14 e 28 dias de cura foram testadas as argamassas, com ensaios de resistência mecânica quanto à tração na flexão, compressão, capilaridade e retração. Os resultados apresentaram potencial de aproveitamento, tornando-se alternativa para grande extração de agregados naturais, propiciando uma redução nos impactos ambientais.

**PALAVRAS-CHAVES:** Resíduos, celulose, argamassa, desempenho.

**ABSTRACT:** This paper aims to analyze mortar traces with the incorporation of residues from the cellulose industry (dregs and grits). The characterization of the residues was carried out through X-ray diffraction, laser diffraction granulometry, and scanning electron microscopy. The partial replacement of the aggregate at 10% content was carried out and, at 7, 14 and 28 days of cure, the mortars were tested, with mechanical resistance tests in terms of tensile strength in bending, compression, capillarity, and shrinkage. The results showed potential use, becoming an alternative for large extraction of natural aggregates, providing a reduction in environmental impacts.

**KEYWORDS:** Residues, cellulose, mortar, performance.

## 1 | INTRODUÇÃO

A indústria de celulose é um cenário em expansão no mundo nos últimos anos. Alguns países vêm adaptando processos que visam o aumento da produtividade e qualidade do produto, conciliada a práticas que preservem o meio ambiente. Hoje, o Brasil encontra-se como um dos principais países que trabalham com essa matéria prima, constituindo-se como um dos pilares da indústria nacional, devido principalmente a condições edafoclimáticas extremamente favoráveis. O processo de produção consiste na prática conhecida como *Kraft*, caracterizada pela ação de cozimento contínuo em suas etapas. Sua vantagem se encontra na possibilidade de recuperação dos produtos químicos utilizados durante a operação, contudo, o contraponto está no fato de gerar uma quantidade alta de resíduos sólidos, muitas vezes descartado ou utilizado na disposição de aterros. Visto isso, a fim de buscar a redução de custos, aumento da durabilidade e a consequente melhoria nos processos construtivos como um todo,

a área da construção civil vem buscando o desenvolvimento de novos materiais que atendam estas demandas, sem comprometer sua funcionalidade. Logo, o presente trabalho busca estudar a viabilidade de dois dos resíduos gerados no processo citado, sendo estes o dregs e o grits.

No cenário nacional, a produção anual de celulose está na ordem de 13 milhões de toneladas. Estima-se que há a geração de 780 mil toneladas de resíduos, sendo destes, 130 mil toneladas de dregs e 39 mil toneladas para grits[1], o que demonstra uma alta quantidade de material.

A geração do dregs se dá a partir da sedimentação de matéria inorgânica do licor preto, utilizado em etapas de tratamento químico da celulose, que acaba sofrendo dissolução e clarificação, resultando em sua formação. Deste processo, parte dela é líquida e essa fração é misturada com cal e, posteriormente, repassada à uma nova etapa de sedimentação, caracterizada pela formação do resíduo conhecido como Lama de Cal, que após uma porcentagem dela ser aquecida em fornalha, acaba dando origem ao grits.

Visto isso, o potencial uso destes resíduos como fração do material da produção de argamassas para uma edificação, resulta em uma alternativa interessante do ponto de vista sustentável, econômico e produtivo para a área da construção civil. Para isso, estes resíduos substituíram, individualmente, 10% do agregado miúdo (areia média) utilizado nas confecções das argamassas. Logo, será analisado o desempenho do dregs e do grits, em comparação com um traço de argamassa convencional que funcionará como referência no estudo.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, os resíduos foram obtidos por meio de uma indústria de papel e celulose localizada na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, onde as amostras foram cedidas pela empresa, e estes foram armazenados e lacrados em sacos plásticos. As amostras dos resíduos foram secas em estufa à 110ºC e, posteriormente, maceradas com o auxílio de um almofariz. Na Figura 1 é possível ver uma amostra de grits e outra de dregs, respectivamente.




Figura 1 – Amostras de Grits e Dregs

Fonte: Elaborado pelos autores

A massa unitária foi determinada por meio do “Método C” estipulado pela

ABNT NBR NM 45:2006[2], em que a amostra deve ser despejada no recipiente de uma altura não superior a 50mm, retirando o excesso que eventualmente transbordará no processo.

A granulometria do agregado miúdo foi definida por ensaio de peneiramento com agitador mecânico, de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003[3], no Laboratório de Geotecnia e Concreto da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Já referente aos resíduos, estes, por sua vez, foram realizados ensaios de granulometria de difração a laser, visando uma análise mais completa na sua caracterização, com foco nas menores partículas.

O agregado natural utilizado apresentou massa unitária igual a 1,53 g/cm³ e módulo de finura de 2,45 caracterizando-o como areia média conforme Selmo[4]. Os resíduos apresentaram, em geral, granulometria fina. O dregs um material com coloração cinza escuro com alguns torrões e massa unitária de 0,86 g/cm³. Já o grits apresentou coloração cinza claro e massa unitária de 1,27 g/cm³. As curvas granulométricas dos materiais podem ser observadas na Figura 2.

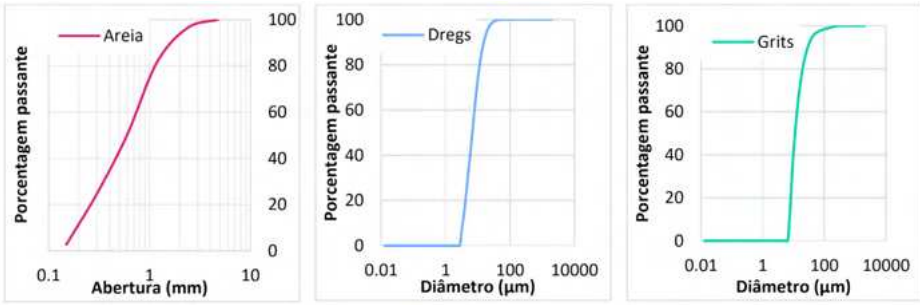


Figura 2 – Curvas granulométricas dos agregados

Fonte: Elaborado pelos autores

A análise da estrutura atômica e molecular dos resíduos foi feita por meio do Ensaio de Difração de Raios X (DRX), sendo os difratogramas registrados entre 3° e 90°, no Centro de Microscopia Eletrônica da Zona Sul – CEME-SUL da FURG, com o equipamento de difração de raios-X (DRX) da marca Bruker, modelo D8 Advance, com os seguintes parâmetros: voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, tubo de cobre (Cu) com comprimento de onda (λ): 1,5418Å. Resalta-se que foram utilizados como base os padrões difratométricos da ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database).* Através dos difratogramas, Figura 3, identifica-se que a principal fazer cristalina dos resíduos é o cálcio presente na forma de Calcita ($CaCO_3$).

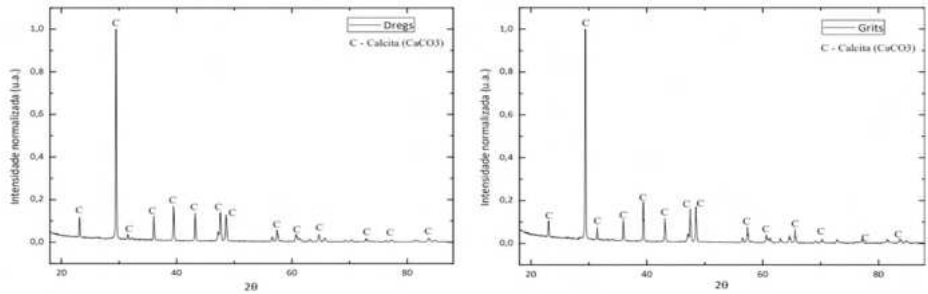


Figura 3 – Difratogramas dos resíduos

Fonte: Elaborado pelos autores

Além disso, foi realizada também a caracterização morfológica destes materiais utilizando um microscópio eletrônico de varredura (MEV), onde verifica-se partículas finas para o dregs e intermediárias para o grits corroborando com os resultados encontrados na granulometria de difração a laser apresentados na Figura 2. Nas imagens, verifica-se que ambos os resíduos são aglomerados de partículas menores, sendo essas características também ressaltadas por Ferreira et al.[5]. Na Figura 4 a seguir são apresentadas as micrografias, com aumento x80 e x10.000.

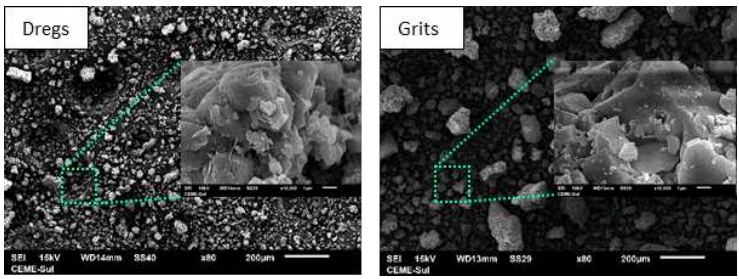


Figura 4 – Micrografias dos resíduos

Fonte: CEME-Sul/FURG

O traço utilizado respeitou a proporção de uma parte de aglomerante, cimento Portland CPV, para três partes de agregado miúdo (1:3), em massa. A quantidade de água foi experimentada até resultar em um valor que apresentasse trabalhabilidade adequada para uso geral na construção civil, através do ensaio de determinação do índice de consistência (IC) da argamassa, segundo as diretrizes da ABNT NBR 13276:2016[6]. Após este procedimento, fixou-se a relação água/cimento (0,69) para todos os traços, tendo em vista que esta relação permitiu obter o IC adequado para a argamassa de referência, conforme a Tabela 1.

| Argamassa | Relações em massa (kg) | | | | | | Densidade de massa (kg/m³) | Índice de consistência (mm) | Teor ar incorporado (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A/C* | A/MS* | Cimento | Areia | Dregs | Grits | | | |
| Dregs | 0,685 | 0,12 | 1 | 4,622 | 0,09 | - | 2131 | 230 | 5,56 |
| Grits | 0,691 | 0,12 | 1 | 4,622 | - | 0,132 | 1993 | 250 | 11,78 |
| Referência | 0,694 | 0,12 | 1 | 4,622 | - | - | 1938 | 248 | 14,11 |

*A/C- água/cimento; A/MS- água /materiais secos

Tabela 1 – Resumo das características das argamassas

Fonte: Os autores

Tendo o traço definido para os três tipos de argamassas estudados, foram moldados os corpos de provas prismáticos, quatro exemplares para cada traço analisado, com dimensões de 4x4x16cm, que serviram para aplicação de ensaios regulares, nos intervalos de tempo de 7, 14 e 28 dias. A cura foi realizada com as amostras envolvidas em filme de PVC até o momento dos ensaios.

A resistência mecânica foi determinada com os ensaios de tração na flexão e compressão, de acordo com a ABNT NBR 13279:2005[7]. Foram realizados também ensaios de absorção de água por capilaridade dos corpos de provas, conforme a ABNT NBR 15259:2005[8], bem como, ensaio de retração e densidade de massa das argamassas no estado endurecido, ABNT NBR 13280:2005[9].

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Densidade de massa no estado endurecido e retração

A Tabela 2 apresenta uma média dos resultados das densidades de massa no estado endurecido encontrados para as diferentes argamassas estudadas. Assim, nota-se que a argamassa com dregs apresentou maior densidade aos 28 dias de cura, como percebido também na densidade no estado fresco, justificando o baixo teor de ar incorporado em relação aos demais traços. Os resultados provenientes da substituição de grits indicou uma menor densidade de massa, semelhante a argamassa de referência. Verificou-se, também que os corpos de prova não apresentaram expressivas mudanças de dimensões, indicando que não houve retração na cura.

| | Desforma (kg/m³) | 3 dias (kg/cm³) | 7 dias (kg/cm³) | 14 dias (kg/m³) | 28 dias (kg/m³) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Dregs** | 2100 | 2096 | 2092 | 2077 | 2063 |
| **Grits** | 2106 | 2101 | 2096 | 2080 | 2010 |
| **Referência** | 2111 | 2109 | 2093 | 2083 | 2017 |

Tabela 2 – Densidade de massa no estado endurecido

Fonte: Elaborado pelos autores

A densidade de massa aparente de todas as composições foi decrescente até os 28 dias de cura, como esperado, em razão da perda de água envolvida no processo químico. No entanto, a argamassa com dregs apresentou o percentual 1,8% de perda de massa neste processo e as demais 4,7%, indicando que, provavelmente, a relação a/c para esta composição foi insuficiente, justificada pela maior área superficial das partículas de dregs que demandam maior consumo de água. Segundo a ABNT 13281:2005[10], aos 28 dias, para a densidade de massa no estado endurecido todas as argamassas são classificadas como "M6" (> 1800 kg/m³).

### 3.2 Absorção de água por capilaridade

Na Figura 5, encontram-se as médias dos valores do coeficiente de capilaridade dos corpos de prova, ensaiados no tempo de 90 minutos em 7 e 28 dias. Os corpos de prova com substituição parcial dos agregados por resíduos apresentaram um coeficiente de capilaridade maior em relação a argamassa de referência, mas semelhantes entre si ao final dos 28 dias de cura. Nota-se na argamassa com dregs um coeficiente de capilaridade na ordem de 44%, superior a argamassa de referência. Este fato pode estar relacionado a deficiência de água de amassamento, que propicia a transformação dos compostos químicos na hidratação da matriz cimentícia aliado ao processo de cura, em que as amostras ficaram condicionadas um filme de PVC dificultando a penetração do $CO_2$, inviabilizando a eficiente transformação dos hidróxidos em carbonatos de cálcio. Outro fator para o maior coeficiente de capilaridade dos compósitos com resíduos pode ser devido a porosidade e forma dos grãos. De acordo com a ABNT NBR 13281:2005[10] as argamassas com dregs e grits são classificadas como "C2" (1,0 a 2,5 g/dm².min$^{1/2}$) e a de referência como "C1" (≤ 1,5 g/dm².min$^{1/2}$).

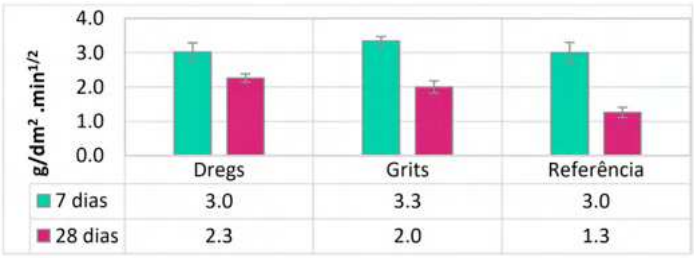


Figura 5 – Coeficiente de capilaridade

Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.3 Resistência à tração na flexão e à compressão

Os resultados de resistência à tração na flexão evidenciaram um ganho de resistência acentuado nas argamassas que possuem substituição parcial do agregado miúdo por resíduo nas primeiras idades. Aos 7 dias, o traço com dregs apresentou um incremento de resistência, em relação ao traço de referência, de 27,3% para tração na flexão e 24,7% para compressão. Já o traço com grits apresentou um aumento de resistência para tração na flexão e compressão, respectivamente, na ordem de 21,3%

e 19,8%. Percebe-se aos 28 dias que as resistências dos corpos de prova à compressão apresentam resultados análogos e superiores as exigidas pela ABNT NBR 13281:2005[10], sendo as argamassas com dregs classificadas como "R5" (2,7 a 4,5 MPa), grits e referência como "R6" (> 3,5 MPa) para flexão. Já para a compressão todas foram classificadas como "P6" (> 8 MPa). A Figura 6 apresenta os resultados da resistência à tração na flexão e compressão das argamassas estudadas.

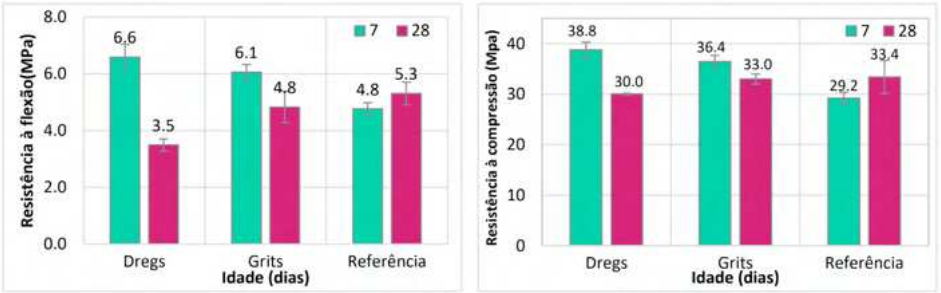


Figura 6 – Resistência à tração na flexão e à compressão

Fonte: Elaborado pelos autores

Além disso, associa-se a redução dos valores nas resistências à tração na flexão e compressão, ao modo em que foram mantidas até o momento do ensaio, ratificando o descrito no ensaio de absorção de água. Com isso, há a possibilidade de as amostras não terem completado o seu processo de cura, sendo assim não demonstrando todo seu potencial.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, foi realizado o estudo da substituição parcial dos agregados miúdos por resíduos de celulose (dregs e grits). Quanto as resistências, os corpos de prova com adição de resíduos apresentaram valores superiores, nas primeiras idades, aos da argamassa de referência, sendo maior o ganho de resistência da argamassa com adição de dregs.

Observa-se que os corpos de prova não indicaram retração na cura, ademais, em virtude do maior teor de finos, as argamassas com substituição parcial de dregs apresentaram um menor índice de consistência e uma maior densidade de massa no estado fresco. Salienta-se que os resultados apresentados nesse artigo são oriundos de uma pesquisa em desenvolvimento, por conseguinte, novas variáveis serão testadas, tais como: outros aglomerantes e diferentes processos de cura.

A partir dos resultados obtidos, verifica-se o bom desempenho e viabilidade da utilização das argamassas com substituição de 10% de resíduos. Sendo essa, uma alternativa ao uso excessivo de agregados naturais, além de uma proposta para a gestão adequada desses resíduos amplamente produzidos.

## REFERÊNCIAS


1. RIBEIRO, Alcidio. P. Avaliação do uso de resíduos sólidos inorgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos. 2010. Tese de doutorado Escola Politécnica – Universidade de São Paulo,2010.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

4. SELMO, S. M. S. Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios. 1989. 227 f. Dissertação de Mestrado Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, 1989.

5. FERREIRA, Lidia et al. Caracterização de resíduos da indústria de papel e celulose para o desenvolvimento de materiais cerâmicos. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica,61.,2017, Rio Grande do Sul. **Anais[...]** Rio Grande do Sul, 2017.

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

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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, 2005.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.