



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



**Hélio Lourenço Ferreira Dias Júnior**

**INFLUÊNCIA DO USO DE DIFERENTES TEORES DE DREGS EM  
SUBSTITUIÇÃO À AREIA NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS**

Uberlândia

2021

**Hélio Lourenço Ferreira Dias Júnior**

**INFLUÊNCIA DO USO DE DIFERENTES TEORES DE DREGS EM  
SUBSTITUIÇÃO À AREIA NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Eliane Betânia  
Carvalho Costa

Uberlândia

2021

**Hélio Lourenço Ferreira Dias Júnior**

INFLUÊNCIA DO USO DE DIFERENTES TEORES DE DREGS EM  
SUBSTITUIÇÃO À AREIA NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS

Trabalho de Conclusão de Curso, na forma de artigo, apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau em Engenharia Civil.

---

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Eliane Betânia Carvalho Costa

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão

---

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Livia Borba Agostinho

---

Aluno: Hélio Lourenço Ferreira Dias Júnior

Uberlândia

2021

## Lista de Figuras

Figura 1: Agregados .....	14
Figura 2: Curvas granulométricas dos agregados.....	15
Figura 3: Procedimento de mistura adotado para homogeneização das argamassas.....	17
Figura 4: Ensaio de índice de consistência e densidade de massa.....	18
Figura 5: Moldagem dos corpos de prova .....	18
Figura 6: Método para obtenção da massa saturada submersa.....	20
Figura 7: Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico .....	20
Figura 8: Influência do teor de dregs no teor de água da argamassa.....	22
Figura 9: Volume dos materiais utilizados em cada argamassa .....	23
Figura 10: Quantidade de água e resistência à compressão em função do teor de dregs .....	24

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Tabela resumo das referências bibliográficas.....	12
Tabela 2: Propriedades do cimento .....	13
Tabela 3: Propriedades do filer calcário .....	14
Tabela 4: Propriedades dos agregados.....	15
Tabela 5: Características do aditivo superplastificante utilizado .....	16
Tabela 6: Traços unitários em massa das argamassas estudadas.....	17
Tabela 7: Resultados dos ensaios no estado fresco .....	23
Tabela 8: Resultados dos ensaios no estado endurecido .....	23

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>2. Uso de dregs na produção de argamassas .....</b>	<b>10</b>
<b>3. Programa experimental .....</b>	<b>13</b>
3.1. Materiais .....	13
3.1.1. Cimento .....	13
3.1.2. Fíler calcário .....	14
3.1.3. Agregados .....	14
3.1.4. Aditivo superplastificante .....	16
3.2. Produção das argamassas .....	16
3.3. Ensaio no estado fresco .....	17
3.4. Moldagem e cura dos corpos de prova .....	18
3.5. Ensaio no estado endurecido – 28 dias .....	19
3.5.1. Absorção por imersão e índice de vazios .....	19
3.5.2. Módulo de elasticidade dinâmico .....	20
3.5.3. Resistência à compressão .....	22
<b>4. Resultados e Discussão .....</b>	<b>22</b>
<b>5. Conclusões .....</b>	<b>25</b>
<b>Referências .....</b>	<b>26</b>

## **RESUMO**

A areia é um dos materiais mais utilizados no setor da construção civil. A demanda crescente por este produto tem provocado escassez mundial, principalmente nos centros urbanos, além de gerar impactos ambientais durante a sua obtenção. Isso tem aumentado a busca por materiais alternativos para a substituição total ou parcial da areia na produção de argamassas e concretos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é o efeito da substituição parcial da areia pelo resíduo dregs, gerado durante a produção da celulose, em argamassas. Foram utilizados cinco tipos de argamassas, com teores de substituição de 0; 5; 10; 20; e 30% da areia pelo resíduo. O traço adotado para a argamassa de referência foi 1: 0,5: 4,5: 0,7 (cimento: filer calcário: areia: água) e aditivo superplastificante no teor igual a 0,35% à massa de finos (cimento e calcário). A fim de manter um índice de consistência pré-estabelecido, o teor de água da argamassa foi variável. As argamassas foram avaliadas no estado fresco e as propriedades físicas determinadas aos 28 dias. Os resultados indicaram o aumento do teor de água em função da quantidade de resíduo utilizada, conseqüentemente, impactando negativamente nas propriedades mecânica.

**Palavras-chave:** dregs, celulose, areia, substituição, argamassa.

## **ABSTRACT**

Sand is one of the most used materials in the construction industry. The growing demand for this product has caused a worldwide shortage, especially in urban centers, in addition to generating environmental impacts during its acquisition. This has increased the search for alternative materials for the total or partial replacement of sand in the production of mortar and concrete. Thus, the objective of this work is the effect of the partial replacement of sand by dregs residue, generated during the production of cellulose, in mortars. Five types of mortar were used, with replacement contents of 0; 5; 10; 20; and 30% of the sand for the residue. The mix adopted for the reference mortar was 1: 0.5: 4.5: 0.7 (cement: limestone filler: sand: water) and superplasticizer additive in a content equal to 0.35% to the fine mass (cement and limestone). In order to maintain a pre-established consistency index, the water content of the mortar was variable. The mortars were evaluated in their fresh state and physical properties determined at 28 days. The results indicated an increase in the water content as a function of the amount of waste used, consequently, negatively impacting the mechanical properties.

**Keywords:** dregs, cellulose, sand, replacement, mortar.

## 1. INTRODUÇÃO

A areia é um dos materiais mais utilizados num canteiro de obras. Trata-se de um elemento fundamental em diversos processos da construção civil, desde a fundação até o acabamento, passando pela estrutura e vedações. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) são extraídas 40 bilhões de toneladas de areia a cada ano. No Brasil, foram consumidas 342 milhões de toneladas de areia em 2016 (BRASIL, 2019).

A extração de areia natural pode ocorrer por desmonte hidráulico (cava seca) ou dragagem (em área de várzea e em leito de cursos d'água). No Brasil, segundo a ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção (2021), a extração é feita predominantemente em cava submersa em leitos de rios. Esse processo ocorre por meio de dragas de sucção que bombeiam a polpa até a margem do rio, onde seguem em dutos até uma peneira, na qual são feitos, o desaguamento e a separação cascalho e areia (ANGULO, 2019). Depois de lavada, a areia é transportada para comercialização e separadas nas granulções fina, média e grossa. Tal método também é realizado para extração de areia nos oceanos, sendo necessário tratamento prévio devido ao sal presente na água.

Na produção argamassas industrializadas têm sido utilizada a areia de britagem, obtida durante a produção de brita no processo a úmido. No entanto, para uso essa deve ser submetida a lavagem para retirada do material pulverulento.

A obtenção da areia natural e de britagem acarretam impactos socioambientais significativos como: assoreamento de rios, alteração da paisagem, poluição do solo e das águas, perda de biodiversidade, comprometimento da qualidade do ar pela emissão de particulados, risco à saúde a população do entorno, derrame de areia nas estradas, entre outros (SILVA, 2012). Além dos impactos socioambientais gerados pela produção de agregados miúdos, com o aumento da demanda de infraestrutura nas cidades e o crescimento populacional, há uma escassez de areia mundial, principalmente em grandes centros urbanos (BENDIXEN et al., 2019; BEISER, 2019; TAMMARO, 2021).

Devido a crescente preocupação com o meio ambiente e a escassez dos recursos naturais aliado à busca pelo desenvolvimento sustentável no setor da construção civil, materiais alternativos têm sido investigados para aplicação como agregado miúdo na produção de concretos e argamassas. Um material que pode ser utilizado é o dregs, resíduo sólido gerado no processo Kraft durante a produção de celulose.

O dregs é um resíduo com coloração escura, resultante da queima incompleta do licor negro kraft na caldeira de recuperação e posterior precipitação, favorecida pelo meio fortemente alcalino, de elementos não processuais, como Al, Mg, Mn, Fe, Co, P, Si e Ca (MARTINS, 2007). Nesse resíduo, o cálcio é o elemento mais abundante (ULMGREN e RAADESTROEM, 1997). Normalmente, o dregs é composto por carbonato de cálcio, magnésio e sódio, podendo conter sulfetos, carbono não queimado (material que não foi queimado nas fases anteriores do processo) e vestígios de metais pesados (JORDAN et al., 2002). Além dos componentes listados, cristais de fosfato de cálcio podem ser precipitados.

O reaproveitamento de resíduos pode ser a melhor maneira para diminuir os impactos ambientais gerados num processo de produção. Entretanto, é preferível conter ao máximo o desperdício reduzindo assim a demanda pelo consumo de materiais naturais. Segundo a Lei Federal nº 12.305 deve haver elos entre setores da indústria, produção, serviços e consumo na questão da coleta e do reaproveitamento correto dos resíduos sólidos em seu ciclo e destinação final adequada (BRASIL, 2010). Os resíduos produzidos por um determinado setor muitas vezes podem ser considerados como matérias-primas úteis para outras indústrias, reduzindo, assim, o impacto ambiental (FERREIRA; OLHERO, 2002).

Tendo em vista a necessidade de se encontrar uma alternativa para diminuir o uso de areia devido sua escassez e definir um destino correto para o resíduo da celulose, este estudo exploratório tem como objetivo analisar a influência do teor de dregs em substituição à areia na produção de argamassas.

## **2. USO DE DREGS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS**

Em 2020, a indústria de celulose gerou cerca de 15 milhões de toneladas de resíduos sólidos (IBÁ, 2021). Destes, a maior parte é reutilizada e o restante segue para a destinação correta, dentro dos critérios legais. Nos últimos anos, pesquisas têm sido desenvolvidas ao redor do mundo no intuito de reaproveitar parte destes materiais. Ainda há poucos estudos sobre o uso dos dregs em substituição a areia. A seguir, apresenta-se um breve resumo de alguns trabalhos desenvolvidos com esses resíduos na produção de argamassas e concretos.

Marques et al. (2014) avaliaram a incorporação dos resíduos dregs e grits na produção de argamassas de revestimento. Foram avaliados os teores de substituição de areia iguais a 10%, 20% e 30% em relação à massa mantendo-se constante o teor de água. A partir dos resultados de índice de consistência e resistência mecânica, os autores recomendam a substituição da areia pelo resíduo em até 10% da massa do agregado visto que, para esse teor,

observou-se um aumento de resistência a compressão de 23% em relação à argamassa de controle enquanto que o índice de consistência se manteve estável. Já nos teores de 20% e 30% de substituição, houve uma queda de 5% e 37% na resistência e de 11% e 20% na consistência.

Torres et al. (2017) utilizaram o resíduo da indústria de celulose como adição e substituição ao cimento em concretos. Foram analisados os teores de substituição de 2,5,10 e 20%, tanto para a adição, quanto para a substituição. As quantidades de água e agregados foram mantidas constantes. De maneira geral, os concretos com dregs apresentaram um ganho de resistência mais acentuado nas primeiras idades, comparados com o concreto de referência. Aos 28 dias, a adição de dregs em até 10% proporcionou um ganho de resistência mecânica de 1,6% a 5,4%.

Santos et al. (2018) avaliaram a incorporação do resíduo dregs na produção de argamassas mistas em substituição à cal hidratada. Os resultados mostraram que as misturas com maior proporção de cimento e menor proporção de resíduo (entre 7 e 14%) tiveram os melhores resultados para os ensaios mecânicos de resistência à flexão e à compressão. As misturas com maiores teores de resíduo apresentaram maiores densidades aparente e capacidade de absorção de água.

Gomes et al. (2012) avaliaram a possibilidade de utilização do dregs em concretos em adição e substituição parcial ao cimento. Os compósitos com adição de 4% de dregs apresentaram resultados de resistência à compressão aos 28 dias superiores em aproximadamente 15% aos da mistura padrão. Para aplicação do resíduo em substituição ao cimento, em 5% e 10% em massa, não houve diferença significativa nos valores de resistência à compressão, conforme análise estatística. Ainda segundo os autores, para substituição de 15% houve um decréscimo de 26,3% nesta propriedade aos 28 dias.

Muller (2012) avaliou a durabilidade, em ambientes de constante calor e em um incêndio, de uma argamassa mista de revestimento interno de paredes e tetos com substituição de areia por uma mistura entre dregs/grits. Foram realizados os ensaios de degradabilidade térmica e o ensaio termogravimétrico. Os resultados indicam que a durabilidade não foi prejudicada com a incorporação da mistura na argamassa (diferença menor que 2%), podendo substituir a areia.

Tabela 1: Tabela resumo das referências bibliográficas

<b>Referência</b>	<b>Uso do dregs</b>	<b>Teor utilizado</b>	<b>Propriedades avaliadas</b>	<b>Conclusões</b>
Muller (2012)	Substituição de areia	10 e 20%	Absorção de água, teor de material pulverulento, degradabilidade da argamassa	Durabilidade similar tornando possível a substituição
Marques (2014)	Substituição de areia	10, 20 e 30%	Índice de consistência e Resistência à compressão	Substituição viável para 10%
Gomes (2012)	Substituição do cimento e material de preenchimento	4,5,10 e 15%	Resistência à compressão	Valores superiores como material de preenchimento (4%), normais para 5 e 10% e inferiores para 15%
Torres (2017)	Substituição e adição no cimento	2,5, 10 e 20%	Resistência à compressão	Aceleração nos ganhos de resistência nas primeiras idades e aumento de resistência para teores abaixo de 10%
Santos (2018)	Substituição da cal hidratada	7-14%	Resistência à tração e à compressão, densidade aparente e absorção de água	Viabilidade comprovado para teores baixos de substituição a fim de manter os níveis de resistência.

Fonte: Autor (2021).

É possível afirmar que, em trabalhos utilizando o dregs como substituição de areia, os teores utilizados que obtiveram os melhores desempenhos foram os até 20%.

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para avaliar o efeito da substituição da areia pelo resíduo dregs foram produzidos cinco tipos de argamassas considerando os teores de 0%; 5%; 10%; 20%; e 30%. O traço de referência adotado foi 1: 0,5: 4,5: 0,7 (cimento: filer calcário: areia: água) (SPINI, 2021) e aditivo superplastificante, num teor igual a 0,35% à massa de finos (cimento e calcário). O teor de aditivo foi mantido constante e a quantidade de água variável a fim de se obter um índice de consistência  $240 \pm 10$  mm em todas as argamassas estudadas. Além deste índice, foi avaliada a densidade de massa no estado fresco. Aos 28 dias, foram determinados o índice de vazios, o módulo de elasticidade e a resistência à compressão.

#### 3.1. MATERIAIS

##### 3.1.1. Cimento

Foi utilizado o cimento Portland CPV-ARI em decorrência de sua pureza (ausência de compostos de escórias, pozolanas), que é composto por clínquer, sulfato de cálcio e material de carbonático de acordo com a NBR 16697 (ABNT, 2018). Na Tabela 2, estão apresentadas as propriedades físicas e mecânicas do cimento utilizado e as referências normativas utilizadas em sua determinação.

Tabela 2: Propriedades do cimento

<b>Propriedade</b>	<b>Valor</b>	<b>Referência</b>
Superfície específica (cm <sup>2</sup> /g)	5200	ABNT NBR 16372:2015
Resistência à compressão, 1 dia (MPa)	23,2	ABNT NBR 7215:2019
Resistência à compressão, 3 dias (MPa)	37,3	ABNT NBR 7215:2019
Resistência à compressão, 7 dias (MPa)	46,7	ABNT NBR 7215:2019
Resistência à compressão, 28 dias (MPa)	58,1	ABNT NBR 7215:2019
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,06	ABNT NBR NM 52:2009

Fonte: Spini (2021).

### 3.1.2. Filer calcário

O filer calcário foi utilizado como adição mineral a fim de acrescentar maior proporção de finos nas misturas de argamassa. O material utilizado foi Procarb 5 obtido comercialmente, junto a *Provale Mining Group*. De acordo com o fabricante este material é constituído por 80% de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ); 15,5% de carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ) e resíduo insolúvel igual a 4,5%. Na Tabela 3 são mostradas algumas propriedades físicas e o pH do filer calcário utilizado.

Tabela 3: Propriedades do filer calcário

Propriedade	Valor	Referência
Massa específica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	2,7	NBR NM 52:2009
Superfície específica ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	932470	NBR 16372:2015
Diâmetro médio ( $\mu\text{m}$ )	5,5 – 6,5	Fabricante
Densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,2-1,5	Fabricante
pH	9,0-10,0	Fabricante

Fonte: Spini (2021).

### 3.1.3. Agregados

Foram utilizados areia natural quartzosa (Figura 1a) obtida comercialmente na cidade de Uberlândia e o resíduo da indústria de celulose – dregs (Figura 1b). O resíduo foi obtido por meio de doação pela empresa Suzano S.A. situada no município de Três Lagoas-MS.

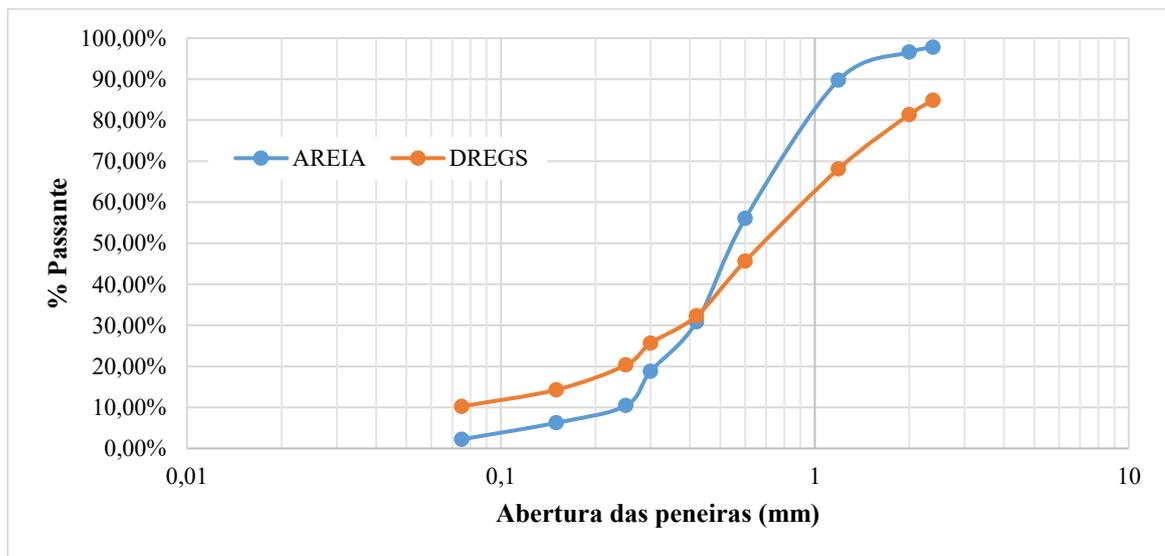
Figura 1: Agregados



Fonte: Autor (2021).

Ambos os agregados foram submetidos a secagem em estufa a 105°C por 7 dias e, posteriormente, a um peneiramento na peneira de 4,8 mm. Foi utilizado somente o material passante nesta peneira. Então, foi feita a caracterização dos mesmos de acordo com o procedimento da NBR NM 248 (ABNT, 2003), acrescentando-se as peneiras de 2,00; 0,42; 0,25 e 0,075 milímetros, a fim de se obter curvas granulométricas mais detalhadas. Estas estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2: Curvas granulométricas dos agregados



Fonte: Autor (2021).

A massa específica dos agregados foi determinada seguindo as especificações da NBR 16916 (ABNT, 2021). Os resultados obtidos bem como alguns parâmetros granulométricos estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4: Propriedades dos agregados**

Propriedades	Areia	Dregs
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,67	2,41
Módulo de finura	2,31	2,61
D50 (mm)	0,56	0,71
D90 (mm)	1,31	3,20
Coefficiente de uniformidade	2,79	14

Fonte: Autor (2021).

A partir dos resultados obtidos na análise granulométrica é possível verificar que o dregs é um material pouco uniforme quando comparado com a areia, além de apresentar partículas maiores, como indicado pelo módulo de finura. Estes valores expressam que o resíduo da indústria de celulose, apesar de possuir uma curva granulométrica semelhante à areia, tende a não apresentar o mesmo comportamento, o que influencia na homogeneidade da argamassa, no teor de água necessário e na resistência alcançada.

### 3.1.4. Aditivo superplastificante

A água utilizada na produção das argamassas foi proveniente da rede de abastecimento público da cidade de Uberlândia-MG. Para aumentar a plasticidade da argamassa sem a adição de grande quantidade de água, foi utilizado o aditivo Master *Glenium* 3500 da BASF. Denominado como superplastificante, na Tabela 5 estão apresentadas algumas especificações fornecidas pelo fabricante.

Tabela 5: Características do aditivo superplastificante utilizado

<b>Características</b>	<b>Informações</b>
Aspecto	Líquido
Cor	Amarelo escuro
Base química	Éter policarboxilato
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	1,00 -1,20

Fonte: Provale Mining Gro, (2021).

## 3.2. PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

Foram elaborados cinco traços de argamassa para testar a influência do uso de dregs em substituição parcial à areia, sendo uma argamassa de referência (REF) com 0% de dregs e outras com os teores de 5, 10, 20 e 30% de substituição, denominadas D5; D10; D20; e D30, respectivamente. A partir de estudos prévios realizados por SPINI (2021), foi adotado o seguinte traço em massa para a argamassa referência 1: 0,5:4,5:0,7: 0,035 (cimento: filer calcário: areia: água: aditivo). Foi utilizado o aditivo superplastificante no teor de 0,35% em relação à soma da massa de cimento e calcário. Este teor foi mantido constante em todas as argamassas estudadas. Para as argamassas com dregs, a quantidade de água inicial foi variável

a fim de obter um índice de consistência de  $240 \pm 10$  mm, partindo-se da relação a/c igual 0,70. Na Tabela 6 estão apresentados os traços unitários das argamassas estudadas.

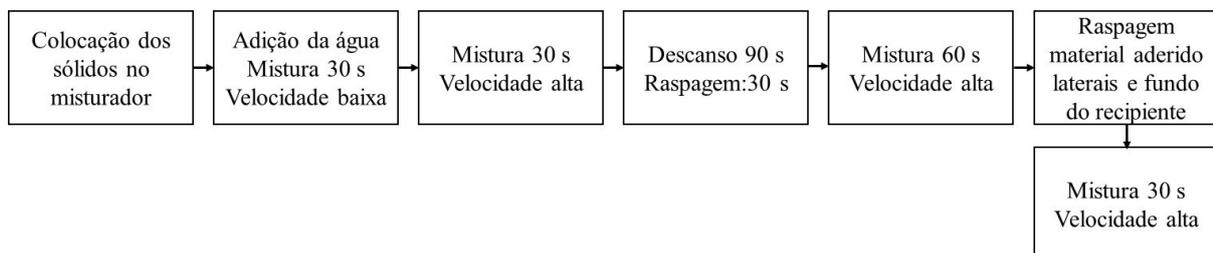
Tabela 6: Traços unitários em massa das argamassas estudadas

Argamassa	Materiais				
	Cimento	Calcário	Areia	Dregs	Água
REF	1,00	0,50	4,50	0,00	0,70
D5	1,00	0,50	4,28	0,21	0,81
D10	1,00	0,50	4,05	0,41	0,91
D20	1,00	0,50	3,60	0,83	1,11
D30	1,00	0,50	3,15	1,24	1,35

Fonte: Autor (2021).

Antes da mistura, foi feita uma homogeneização prévia dos sólidos e do aditivo com a água. A mistura das argamassas foi feita com auxílio de argamassadeira planetária de bancada de acordo com os procedimentos da NBR 16541 (ABNT, 2016). No entanto, foi necessário acrescentar 30 s de mistura em velocidade alta, uma vez que parte do material estava aderido no fundo do recipiente, para garantir a homogeneidade da mistura. O procedimento adotado está ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Procedimento de mistura adotado para homogeneização das argamassas



Fonte: Autor, (2021).

### 3.3. ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

Após a mistura das argamassas, foi determinado índice de consistência (Figura 4a) conforme os procedimentos da NBR 13276 (ABNT, 2016) sendo o resultado final a média da leitura dos três diâmetros. Em seguida, determinou-se a densidade de massa (Figura 4b) com

auxílio de um recipiente cilíndrico de PVC com volume de 370,8 cm<sup>3</sup> seguindo a metodologia da NBR 13278 (ABNT, 2005).

Figura 4: Ensaio de índice de consistência e densidade de massa



(b)



(b)

Fonte: Autor (2021).

#### 3.4. MOLDAGEM E CURA DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram moldados com auxílio de moldes cilíndricos de PVC com diâmetro de 50 mm e altura igual a 100 mm. Tal processo foi feito imediatamente após a realização dos ensaios no estado fresco. A argamassa foi colocada nos moldes com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada camada trinta golpes uniformes com o soquete metálico, homogeneamente distribuídos. Após o adensamento, foi feito o rasamento do topo dos corpos-de-prova com uma espátula metálica. Estes permaneceram em ambiente de laboratório até a desmoldagem.

Figura 5: Moldagem dos corpos de prova



Fonte: Autor (2021).

Após 24h, os corpos de prova foram desmoldados, imersos em água em recipientes de plástico e colocados na câmara para cura.

### 3.5. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO – 28 DIAS

Após 28 dias da moldagem, os corpos de prova foram submetidos aos ensaios de absorção por imersão para determinar o índice de vazios, módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão. Foram utilizados os mesmos corpos prova para a realização destes ensaios. A seguir, são apresentados a metodologia utilizada bem como os métodos de cálculo.

#### 3.5.1. Absorção por imersão e índice de vazios

Segundo a NBR 9778 (ABNT, 2005), a absorção de água por imersão é o processo pelo qual a água tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso e o incremento de massa desse corpo devido à penetração de água, em relação à sua massa em estado seco. O índice de vazios é definido como a relação entre o volume de poros e o volume total da amostra.

Para a determinação destas propriedades, não foi feito o procedimento de fervura dos corpos de prova, uma vez que os mesmos se encontravam saturados por 27 dias. Após a determinação da massa saturada e imersa (Figura 6), os corpos de prova foram secos em estufa a 105°C por 24 h. Os valores de absorção de água por imersão e índice de vazios foram calculados conforme mostrado nas Equações 1 e 2:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} \times 100 \quad (1)$$

$$I_v = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} \times 100 \quad (2)$$

onde:

$m_{sat}$  é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura

$m_s$  é a massa da amostra seca em estufa

$m_i$  é a massa da amostra saturada imersa em água após fervura

Figura 6: Método para obtenção da massa saturada submersa



Fonte: Autor (2021).

### 3.5.2. Módulo de elasticidade dinâmico

O ensaio do módulo de elasticidade dinâmico foi realizado de acordo com o procedimento recomendado pela NBR 15630 (ABNT, 2008), utilizando equipamento de ultrassom UPV, modelo 58-E48 da marca *Controls* (Figura 7).

Figura 7: Ensaio de módulo de elasticidade dinâmico



Fonte: Autor (2021).

Para determinar o módulo de elasticidade dinâmico, primeiro foi necessário determinar a velocidade de propagação de ondas, utilizando a Equação 3:

$$V = \frac{L}{t} \quad (3)$$

onde:

$V$  é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, expressa em milímetros por microssegundos (mm/ $\mu$ S), arredondado à segunda casa decimal;

$L$  é a distância entre os pontos de acoplamento dos transdutores (comprimento do corpo de prova) expressa em milímetros (mm);

$t$  é o tempo registrado pelo mostrador digital, expresso em microssegundos ( $\mu$ S).

Em seguida, calculou-se o módulo de elasticidade dinâmico conforme Equação 4:

$$E_d = V^2 * \rho * \frac{(1 + \mu) * (1 - 2\mu)}{1 - \mu} \quad (4)$$

onde:

$E_d$  é o módulo de elasticidade dinâmico expresso em mega Pascal (Mpa);

$V$  é a velocidade de propagação da onda ultrassônica, expressa em milímetros por microssegundos (mm/ $\mu$ S);

$\rho$  é a densidade de massa aparente do corpo de prova expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  é o coeficiente de Poisson. Adota-se nesta equação o valor 0,2.

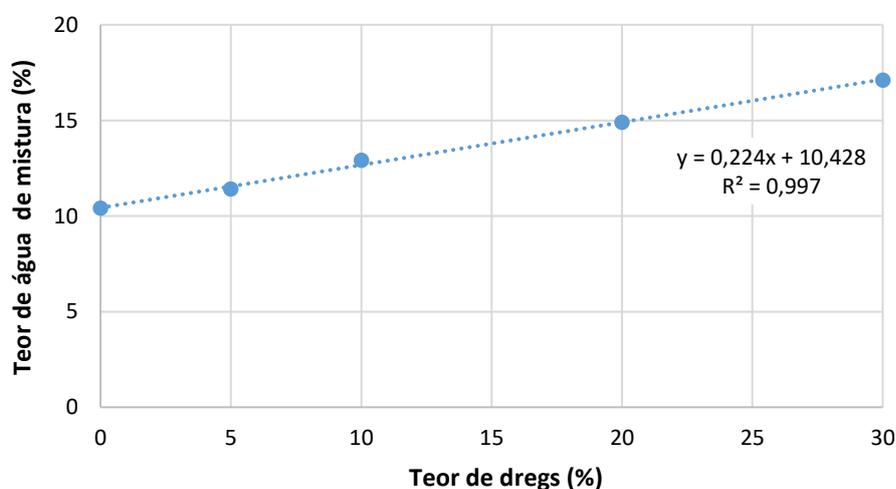
### 3.5.3. Resistência à compressão

Para a determinação da resistência a compressão foram ensaiados seis corpos de provas, utilizando máquina universal de ensaios EMIC DL 600 KN conforme critérios apresentados pela ABNT NBR 5739:2018. Foi utilizado um disco de neoprene entre as faces dos corpos de prova e as capas metálicas para a realização do ensaio.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência do teor de dregs em função da quantidade de água de mistura necessária para obtenção do índice de consistência pré-estabelecido para as argamassas está apresentada na Figura 8. Vale ressaltar que o teor de água da mistura é calculado em relação aos sólidos da mesma.

Figura 8: Influência do teor de dregs no teor de água da argamassa



Fonte: Autor (2021).

Observa-se que quanto maior o teor de *dregs* utilizado para substituir a areia da argamassa, maior é a demanda de água necessária para obtenção de um mesmo índice de consistência. Isso se deve a maior porcentagem de partículas finas presentes nos dregs em comparação a areia utilizada.

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados obtidos nas propriedades das argamassas no estado fresco.

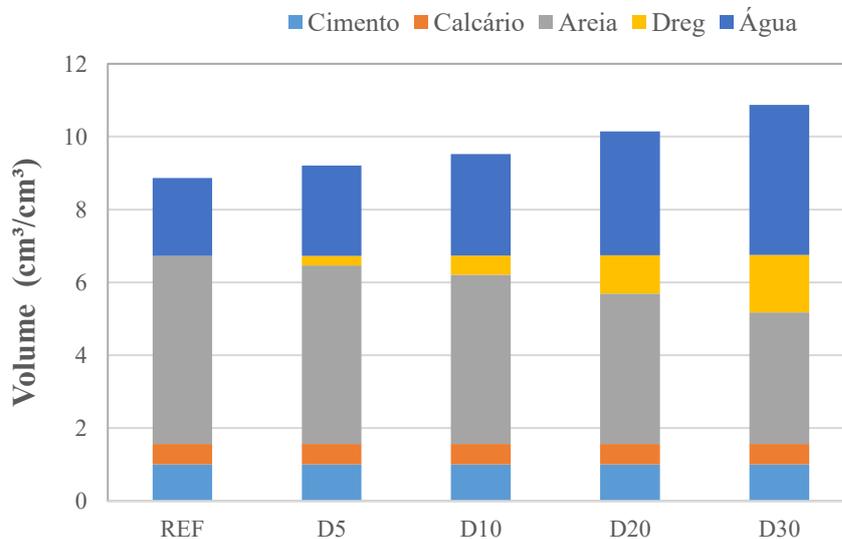
Tabela 7: Resultados dos ensaios no estado fresco

Argamassa	Teor de água (%)	Espalhamento (mm)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
REF	10,4	247	2130
D5	11,7	247	2110
D10	12,9	235	2100
D20	14,9	239	2080
D30	17,1	249	2000

Fonte: Autor (2021).

Observa-se que com o uso de dregs provoca uma redução na massa específica da argamassa. Isso ocorre porque o resíduo apresenta massa específica menor que a areia. Dessa forma, quanto maior a substituição da areia pelo material estudado, maior o volume da argamassa (Figura 9), conseqüentemente, menor a massa específica da argamassa. Esta redução é relevante em termos econômicos, visto que pode propiciar uma diminuição de cargas de estruturas e do consumo de argamassa, com a substituição há um maior rendimento.

Figura 9: Volume dos materiais utilizados em cada argamassa



Fonte: Autor (2021).

Os resultados das propriedades físicas das argamassas estudadas são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados dos ensaios no estado endurecido

Argamassa	Teor de água (%)	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Ed (GPa)	Rc (MPa)
REF	10,4	7,97	16,18	25,09	38,73

D5	11,7	6,81	13,92	23,97	30,17
D10	12,9	7,83	15,80	21,30	26,55
D20	14,9	11,97	22,64	15,54	20,59
D30	17,1	18,03	31,18	10,20	16,39

Fonte: Autor (2021).

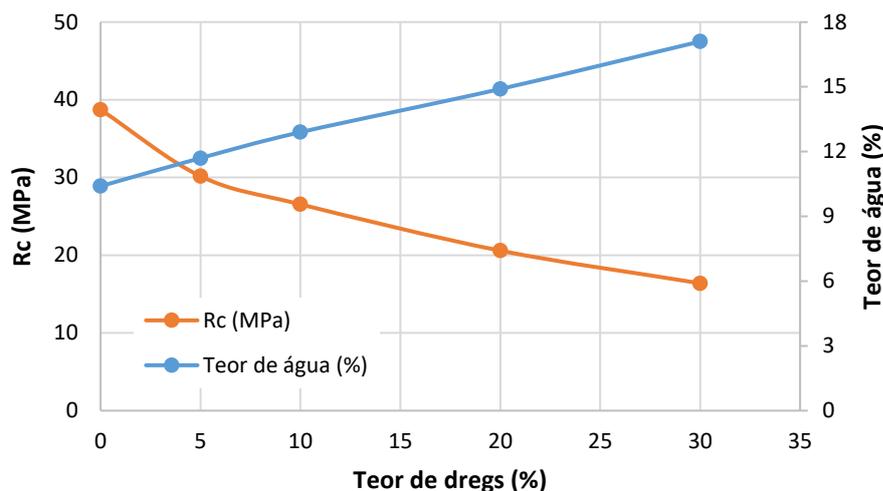
A partir dos valores apresentados de absorção e índice de vazios, é possível observar que, para os teores de 5 e 10%, houve uma redução máxima de 13,97% para o índice de vazios e 14,55% para a absorção, enquanto que, para os teores de 20 e 30%, os resultados foram superiores em aproximadamente 50% em relação a argamassa de referência. Tal diferença pode ser explicada pelo teor de água utilizado, uma vez que, para os valores menores de substituição, a quantidade de água acrescentada não ocasionou grande interferência nas duas propriedades citadas.

O uso de dregs exigiu um acréscimo na demanda de água para obtenção de uma dada trabalhabilidade o que acarreta um aumento da porosidade no estado endurecido. Esse aumento tende a reduzir os valores das propriedades mecânicas, tal como pode ser observado no módulo de elasticidade e resistência à compressão.

A substituição da areia por dregs provocou uma redução de até 59,36% no valor do módulo de elasticidade em relação à argamassa de referência. Nesse caso, o uso do resíduo aumentou a capacidade das argamassas de absorver deformações.

Na Figura 10 está demonstrada a relação inversamente proporcional entre a quantidade de água presente na mistura e resistência à compressão em função do teor de dregs presente nas argamassas. Em comparação com a argamassa de referência, o aumento do teor de dregs na mistura em substituição à areia provocou uma redução de 22% a 58% da resistência à compressão para os níveis de 5% e 30% de resíduo, respectivamente.

Figura 10: Quantidade de água e resistência à compressão em função do teor de dregs



Fonte: Autor (2021).

Diferente dos trabalhos apresentados na Tabela 1, os teores de substituição adotados provocaram uma queda na resistência à compressão das argamassas. Isso já era esperado, uma vez que houve um aumento da relação água/cimento (Lei de Abrams). Nos estudos em que o dregs foi utilizado como substituto da areia (MARQUES,2014) e (MULLER, 2012), a quantidade de água foi fixada ou ajustada para não haver grandes alterações e, por isso, para substituições em até 10% houve um aumento de resistência. O acréscimo do teor de aditivo superplastificante na mistura pode ser uma alternativa para aumentar a trabalhabilidade sem a necessidade de acrescentar água à mistura.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo mostram que o uso de dregs em substituição parcial a areia em diferentes teores influenciou as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Por possuir menor massa específica que a areia utilizada, a densidade de massa das argamassas com o resíduo foi menor que a de referência na medida em que o teor deste aumentava. Houve um aumento na demanda de água para a obtenção de um mesmo índice de consistência com o acréscimo de dregs na mistura. Com o aumento do teor de água, maior a porosidade e a capacidade de absorção de água das argamassas e, conseqüentemente, menor o módulo de elasticidade e resistência à compressão.

Tendo em vista que em argamassas a resistência à compressão não é um fator preponderante, os resultados obtidos, mesmo apresentando redução devido a adição de água, não foram suficientes para descartar a aplicação dos dregs. No entanto, estudos adicionais

sobre outras propriedades precisam ser avaliados. Para aplicações em elementos estruturais, torna-se necessário a otimização do teor de água seja por meio de aditivos superplastificante ou separação de partículas para eliminação da fração fina.

Assim, devido ao cenário atual de escassez dos recursos naturais e necessidade de encontrar um destino adequado para os resíduos de indústrias, é possível afirmar que o material estudado apresenta potencial como substituto parcial da areia. Porém, é necessário realizar mais estudos a fim de se encontrar a proporção ideal de utilização do resíduo e sua finalidade (substituição ou adição de areia).

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916 - Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. p. 7, 2021.

ABNT. NBR 7215 - Cimento Portland e outros materiais em pó - determinação da massa específica. p. 8, 2019.

ABNT. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes 54 e tetos – Índice De Consistência. p. 1–2, 2016b.

ABNT. NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. 2005c.

ABNT. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. 2005b.

ABNT. NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos. p. 8, 2005d.

ABNT. NBR 16541 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios, 2016a.

ABNT. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2018.

ABNT. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. p. 1–15, 2005a.

ABNT. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. 2009.

ABNT. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. p. 6, 2003.

ABNT. NBR NM 45. Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. p. 8, 2006.

ABNT. NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. v. 0002, p. 85, 2009.

Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água

BEISER, V. **Why the world is running out of sand**. BBC Future, 2019. Disponível em: <<https://www.bbc.com/future/article/20191108-why-the-world-is-running-out-of-sand>>. Acesso em: 20/10/2021.

BENDIXEN, M.; BEST, J.; HACKNEY, C.; IVERSEN, L. L. **Time is running out for sand**. Nature, 571, 219, p. 29-31.

5.1. BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. SUMÁRIO MINERAL.

COORD. GERAL DALLA COSTA, M. M.; MEDEIROS, K. A.; LIMA, T. M. BRASÍLIA: ANM, 2019.

FERREIRA J.M.F.; OLHERO S.M. **Al-rich sludge treatments towards recycling**. Journal of the European Ceramic Society, v. 22, p. 2243-2249, 2002.

Gomes, E. V.; Garcez, M. R.; Pedrazzi, C. **Viabilidade técnica de utilização de resíduo da indústria da celulose kraft em compósitos cimentícios**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 54o IBRACON, 2012, Maceió. Anais. Instituto Brasileiro do Concreto, 2012.

JORDAN, M.; SÁNCHEZ, M. A.; PADILLA, L.; CESPEDES, R.; OSSES, M.; GONZALEZ, B. **Kraft Mill Residues Effects on Monterey Pine Growth and Soil Microbial Activity**. Journal Environ. Qual. v.31, p.1004-1009, 2002.

MARQUES, M. L.; VELASCO, F. G.; FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Potencialidades do uso de resíduos de celulose (dregs/grits) com agregado em argamassas**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 2014, Campina Grande, Paraíba.

MARTINS, F. M. **Caracterização química e mineralógica de de resíduos sólidos industriais minerais do estado do Paraná**. Curitiba: UFPR, 2006. Dissertação (Mestrado em Química), Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MULLER, L. M. **Durabilidade da argamassa mista de revestimento interno contendo dregs-grits em substituição à areia**. 2012. 69f. Trabalho de Conclusão e Curso (Graduação em Engenharia de Materiais). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2012.

SANTOS R.F., DE CÁSSIA SILVA SANT'ANA ALVARENGA R., MENDES B., CARVALHO J.M., PEDROTI L., AZEVEDO A. **Addition of Dregs in Mixed Mortar: Evaluation of Physical and Mechanical Properties**. In: Li B. et al. (eds) Characterization of Minerals, Metals, and Materials 2018. TMS 2018. The Minerals, Metals & Materials Series. Springer, Cham.

SPINI, Gabriel Pandolfi. **Efeito do método de mistura nas propriedades de argamassas com poliestireno expandido**. 2021. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Materiais de Construção Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

TAMMARO, R. **Alta demanda pode fazer da areia um recurso escasso**. Jornal da USP, 2021. Disponível em: < <https://jornal.usp.br/atualidades/alta-demanda-pode-fazer-da-areia-um-recurso-escasso/>>. Acesso em: 20/10/2021.

TORRES, S. O. A. **Utilização de finos de dregs na produção de concretos**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 59o IBRACON, 2017, Benito Gonnçalves. Anais. Instituto Brasileiro do Concreto, 2017.

ULMGREN, P.; RAADESTROEM, R. **The composition of calcium phosphates precipitated from green and white liquors**, Nord. Pulp Pap. Res. J. Swed. 12 (2013).