



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE CRATEÚS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOÃO VICTOR RODRIGUES SOARES**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO REUSO DE ÁGUA CINZA PARA PRODUÇÃO DE  
ARGAMASSA: UM ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, QUÍMICAS E  
MICROBIOLÓGICAS**

**CRATEÚS-CE**

**2023**

JOÃO VICTOR RODRIGUES SOARES

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO REUSO DE ÁGUA CINZA PARA PRODUÇÃO DE  
ARGAMASSA: UM ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, QUÍMICAS E  
MICROBIOLÓGICAS

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, Campus Crateús.

Orientador(a): Prof. Dra. Janaina Lopes Leitinho.

Coorientador(a): Prof. Dra. Luisa Gardenia A. T. Farias.

CRATEÚS-CE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S654a Soares, João Victor Rodrigues.

Análise da viabilidade do reuso de água cinza para produção de argamassa : um estudo das propriedades mecânicas, químicas e microbiológicas / João Victor Rodrigues Soares. – 2023.  
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2023.

Orientação: Profa. Dra. Janaina Lopes Leitinho.

Coorientação: Profa. Dra. Luisa Gardenia A. T. Farias.

1. Argamassa. 2. Blends de água cinza. 3. propriedades físicas. 4. mecânicas e químicas. I. Título.

CDD 620

---

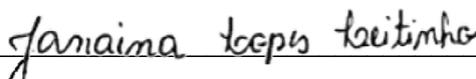
JOÃO VICTOR RODRIGUES SOARES

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO REUSO DE ÁGUA CINZA PARA PRODUÇÃO DE  
ARGAMASSA: UM ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, QUÍMICAS E  
MICROBIOLÓGICAS

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa  
de Graduação em Engenharia Civil, da  
Universidade Federal do Ceará, Campus  
Crateús.

Aprovada em: 12 / 01 / 2024 .

BANCA EXAMINADORA



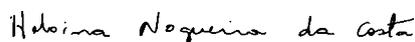
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Janaina Lopes Leitinho (Orientador)

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luisa Gardênia A. T. Farias

Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heloína Nogueira da Costa

Universidade Federal do Ceará (UFC)

A minha mãe, Dodora, por todo amor e apoio durante essa fase.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Ceará, campus Crateús, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de iniciação científica.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Janaina Lopes Leitinho, pela excelente orientação.

Às professoras participantes da banca examinadora Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luisa Gardênia A. T. Farias e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heloína Nogueira da Costa pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao grupo Núcleo Integrado de Pesquisa e Inovação - NIPI, pelos conhecimentos adquiridos.

À minha mãe por estar sempre ao meu lado e me ajudar nessa jornada.

Aos meus amigos pelo apoio e momentos vividos.

Aos colegas de turma da graduação.

“No grande panorama do universo, somos partículas que um dia serão esquecidas. Então não importa o que fizemos no passado ou de como seremos lembrados no futuro, o que importa é o agora, este momento espetacular que estamos compartilhando.” (BoJack Horseman, 2014).

## RESUMO

O Brasil possui 14% da água potável mundial, no entanto, a escassez de água vem se tornando um problema cada vez mais frequente no país, principalmente nas regiões do semiárido brasileiro. Por conta disso, é importante buscar alternativas que diminuam o consumo de água potável em atividades que não necessitem deste recurso com tanta qualidade. O presente estudo busca avaliar o reuso de água cinza (AC), para a produção de argamassas, utilizando blends de 50 e 25% de AC. Os Corpos de prova (CP) produzidos foram caracterizados por testes mecânicos, químicos, microestruturais e microbiológicos. Os resultados obtidos para a resistência mecânica aos 28 dias dos blends de AC, se mostraram satisfatórios, apresentando resistências à compressão acima de 8 MPa, sendo classificados como P6, e resistência à tração acima de 3 MPa, sendo classificados como R6, de acordo com a NBR 13281/05. O estudo da área superficial específica, feito pelo método BET, mostrou os seguintes valores de área específica: 2,5 m<sup>2</sup>/g encontrado para 50% AC e 2,02 m<sup>2</sup>/g para 25% AC. O estudo realizado por FTIR exibiu os seguintes grupos funcionais característicos da argamassa: 780 cm<sup>-1</sup> (Al-O), 530 e 459 cm<sup>-1</sup> (Si-O) e 3440 cm<sup>-1</sup>(O-H). Através das alterações encontradas no pico em 780 cm<sup>-1</sup> (Al-O), para as argamassas estudadas, foi possível verificar uma zona de limite para o uso da AC na argamassa, sendo este de, 50% de AC. O estudo bacteriológico dos CPs 25 e 50% AC realizados com 7 dias de cura apresentaram resultado positivo para coliformes totais e resultado negativo para *E. coli*. Após 28 dias de cura, todos os testes bacteriológicos foram negativos. O teste de presença de fungos, também exibiu resultado negativo mostrando ser, os blends, uma alternativa segura quanto a contaminantes microbiológicos. Assim, pode-se concluir que, a utilização da água cinza nos blends de 25 e 50% AC no amassamento é viável podendo ser um recurso importante na construção.

**Palavras-chave:** Argamassa; Blends de água cinza; propriedades físicas, mecânicas e químicas.

## ABSTRACT

Brazil has 14% of the world's drinking water, however, water scarcity has become an increasingly frequent problem in the country, especially in the Brazilian semi-arid regions. Because of this, it is important to look for alternatives that reduce the consumption of drinking water in activities that do not require this high-quality resource. The present study seeks to evaluate the reuse of gray water (AC) for the production of mortars, using blends of 50 and 25% AC. The Test Bodies (CP) produced were characterized by mechanical, chemical, microstructural and microbiological tests. The results obtained for the mechanical resistance at 28 days of the AC blends were satisfactory, presenting compressive strengths above 8 MPa, being classified as P6, and tensile strength above 3 MPa, being classified as R6, according to NBR 13281/05. The study of the specific surface area, carried out using the BET method, showed the following specific area values: 2.5 m<sup>2</sup>/g found for 50% AC and 2.02 m<sup>2</sup>/g for 25% AC. The study carried out by FTIR exhibited the following functional groups characteristic of the mortar: 780 cm<sup>-1</sup> (Al-O), 530 and 459 cm<sup>-1</sup> (Si-O) and 3440 cm<sup>-1</sup> (O-H). Through the changes found in the peak at 780 cm<sup>-1</sup> (Al-O), for the mortars studied, it was possible to verify a limit zone for the use of AC in the mortar, which was 50% AC. The bacteriological study of CPs 25 and 50% AC carried out after 7 days of curing showed a positive result for total coliforms and a negative result for E. coli. After 28 days of curing, all bacteriological tests were negative. The test for the presence of fungi also showed a negative result, showing that the blends are a safe alternative in terms of microbiological contaminants. Thus, it can be concluded that the use of gray water in blends of 25 and 50% AC in kneading is viable and can be an important resource in construction.

**Keywords:** Mortar; Gray water blends; physical, mechanical and chemical properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fontes de água cinza .....	18
Figura 2 - Composição da pasta de cimento, argamassa e concreto .....	24
Figura 3 - Curva granulométrica da areia .....	27
Figura 4 - Processo de cura dos corpos de provas: a) moldados; b) curados .....	28
Figura 5 - Comparação da resistência à tração na flexão entre 7 e 28 dias .....	35
Figura 6 - Comparação da resistência à compressão axial entre 7 e 28 dias .....	38
Figura 7 - Espectros de absorção de radiação no infravermelho .....	39
Figura 8 - Isotermas de adsorção-dessorção obtidas para as amostras .....	42
Figura 9 - Distribuição do tamanho dos poros para as amostras .....	42
Figura 10 - Análise microbiológica: a) Coliformes totais; b) E. coli .....	44
Figura 11 - Análise de fungos: a) 100% AC; b) 50% AC; c) 25% AC; d) AR .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Consumos domésticos usuais em diversos equipamentos residenciais .....	19
Tabela 2	- Parâmetros qualitativos de água cinza .....	20
Tabela 3	- Parâmetros básicos para água de reuso de Classe 2 .....	22
Tabela 4	- Principais compostos do cimento portland .....	23
Tabela 5	- Classificação de resistência à compressão axial .....	25
Tabela 6	- Classificação de resistência à tração na flexão .....	26
Tabela 7	- Caracterização química da água cinza .....	31
Tabela 8	- Resistência à tração na flexão (MPa) - 7 dias .....	34
Tabela 9	- Resistência à tração na flexão (MPa) - 28 dias .....	34
Tabela 10	- Resistência à compressão axial (MPa) - 7 dias .....	36
Tabela 11	- Resistência à compressão axial (MPa) - 28 dias .....	37
Tabela 12	- Bandas obtidas pela FTIR e respectivas vibrações dos principais grupos integrantes das fases relacionadas .....	40
Tabela 13	- Concentração de sulfato nos CPs .....	41
Tabela 14	- Diâmetro e área específica (m <sup>2</sup> /g) dos materiais .....	43

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Água Cinza</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>Consumo e Reuso de Água na Construção Civil</b> .....	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Cimento Portland</b> .....	<b>22</b>
<b>4.4</b>	<b>Revestimento Argamassado</b> .....	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1</b>	<b>Água Cinza</b> .....	<b>27</b>
<b>5.2</b>	<b>Aglomerante</b> .....	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Agregado</b> .....	<b>27</b>
<b>5.4</b>	<b>Análises químicas da água cinza</b> .....	<b>28</b>
<b>5.5</b>	<b>Produção da argamassa</b> .....	<b>28</b>
<b>5.6</b>	<b>Ensaio de tração na flexão e compressão axial</b> .....	<b>28</b>
<b>5.7</b>	<b>Análise de infravermelho - FTIR</b> .....	<b>29</b>
<b>5.8</b>	<b>Adsorção/dessorção</b> .....	<b>29</b>
<b>5.9</b>	<b>Análises microbiológicas</b> .....	<b>29</b>
<b>a)</b>	<b>Coliformes totais e escherichia coli</b> .....	<b>29</b>
<b>b)</b>	<b>Fungos</b> .....	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>31</b>
<b>6.1</b>	<b>Análise química da água cinza</b> .....	<b>31</b>
<b>a)</b>	<b>Cloretos</b> .....	<b>31</b>
<b>b)</b>	<b>Dureza</b> .....	<b>31</b>
<b>c)</b>	<b>Demanda bioquímica de oxigênio - DBO<sub>5</sub></b> .....	<b>32</b>
<b>d)</b>	<b>pH</b> .....	<b>32</b>
<b>e)</b>	<b>Alcalinidade</b> .....	<b>32</b>
<b>f)</b>	<b>Sulfatos e sulfetos</b> .....	<b>33</b>
<b>6.2</b>	<b>Resistência dos corpos de prova à tração na flexão</b> .....	<b>33</b>

<b>6.3</b>	<b>Resistência dos corpos de prova à compressão axial .....</b>	<b>36</b>
<b>6.4</b>	<b>Análise de infravermelho - FTIR .....</b>	<b>38</b>
<b>6.5</b>	<b>Área superficial - BET .....</b>	<b>41</b>
<b>6.6</b>	<b>Coliformes totais e E. coli .....</b>	<b>44</b>
<b>6.7</b>	<b>Fungos .....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>46</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos principais setores responsáveis pelo desenvolvimento do país. A área apresenta um crescimento positivo na última década fazendo com que haja uma movimentação socioeconômica significativa através da melhoria na infraestrutura das cidades e na geração de empregos, diretos ou indiretos. Apenas em 2022, o PIB da indústria da construção teve um aumento de 10,5% e o setor foi responsável por 42,16% de novos empregos gerados em 2021 (VASCONCELOS, 2022).

Por ser um dos pilares da economia nacional, o ramo necessita de grandes quantidades de matéria-prima para se manter e, conseqüentemente, gera um desperdício proporcional a sua demanda. Para Mateus (2009), a indústria da construção civil usa grandes quantidades de recursos energéticos não renováveis e gera uma excessiva produção de resíduos. Tal produção de resíduos resulta em impactos ambientais, tanto terrestres, como hídricos (SILVA, 2013).

A água é um dos principais recursos utilizados na indústria da construção, estando presente durante todo o processo da obra, seja para consumo humano, limpeza de maquinário, produção de concreto e argamassa para a edificação, entre outras aplicações. Segundo Pereira (2018), cerca de 17% do volume mundial de água doce é utilizado na área, um valor que pode chegar até 25% em países industrializados.

Os recursos hídricos potáveis do planeta, apesar de abundantes, são finitos. A Agência Nacional de Águas (ANA), estima que apenas 2,5% da água existente no planeta é considerada potável, e desse valor, 69% está concentrado em geleiras, 30% armazenados em aquíferos subterrâneos e apenas 1% está presente nos rios.

A constatação da água como um recurso esgotável serve de base para pesquisas que busquem fontes hídricas alternativas, como águas pluviais, de poço, ou águas cinzas, de maneira que a qualidade das atividades realizadas não seja prejudicada. Procurar maneiras viáveis de reutilizar águas residuais diminui a pressão em corpos hídricos potáveis e, portanto, cria um equilíbrio entre os recursos e a demanda (AL-JABRI, K.S. *et al.*, 2011).

Água cinza (AC) é qualquer efluente gerado no banho ou da lavagem de pratos e roupas, excluindo-se os da bacia sanitária (FIORI *et al.*, 2006). Sua produção é inevitável uma vez que é gerada em diversos setores da sociedade, seja residencial, industrial ou agrícola.

Segundo a NBR 15900-1/2009, água de esgoto, mesmo tratada, não se adequa para a produção de concreto. No entanto, em relação à confecção de argamassa, não encontrou-se nenhum parâmetro especificando a qualidade da água. Assim, o estudo da

produção de revestimento argamassado utilizando fontes de água alternativas se torna um ponto interessante a ser estudado.

Sant'ana e Medeiros (2017) desconsideram a reutilização da AC em edificações por conta de seu índice de matéria orgânica elevado. Porém, um estudo realizado por Ghrair *et al.* (2016), utilizando AC tratada e bruta na produção de revestimento argamassado e concreto, obteve resultados promissores quanto aos seus parâmetros mecânicos. Ainda conforme a pesquisa, todos os parâmetros químicos e biológicos, exceto DBO<sub>5</sub> e E. Coli, estavam de acordo com a ASTM C-94.

Apesar de existirem pesquisas voltadas à reutilização de água na construção civil, este ainda é um tópico pouco analisado. Desse modo, viu-se a oportunidade de estudar os efeitos da água cinza, mais especificamente a proveniente de máquinas de lavar, na argamassa utilizada em construções.

## 2 JUSTIFICATIVA

Mendonça, Soares e Coelho (2016) afirmam que a água é um recurso finito e que apesar de o Brasil possuir aproximadamente 14% da água potável do mundo, ainda ocorre uma má gestão deste recurso. Por essa razão, os problemas com escassez de água ocorrem em regiões de grande densidade demográfica ou de semi-árido (HAFNER, 2007). A disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos se tornam um desafio para as autoridades.

Para a Agência Nacional das Águas - ANA (2005), a disponibilidade da água é um agente restritivo para o desenvolvimento industrial, urbano e agrícola, uma vez que, é perceptível a rápida redução de tal recurso devido à crescente demanda para diversas utilidades e a poluição de nascentes.

Apesar de ser um dos bens mais utilizados em obras, Neto (2012), afirma que a água não é considerada como um material para construção, não sendo incluída na composição de gastos de obra, mesmo que esteja presente em quase todas as etapas dos serviços de engenharia. Cenários como esse mostram a fragilidade da gestão nos canteiros brasileiros e a importância de estudos acerca do tema, uma vez que o sistema fluvial acaba não sendo monitorado da forma que deveria, gerando um prejuízo econômico e ambiental.

Dessa maneira, o reuso de água se apresenta como uma alternativa interessante para tarefas em que não haja necessidade de uma água com maior qualidade.

A utilização das águas residuais tem se mostrado uma grande aliada quando se trata de reutilizar recursos hídricos, uma vez que podem ser aproveitadas para atividades não relacionadas ao consumo humano ou animal, tais como, refrigeração de equipamentos, limpeza de ruas e praças e em processos industriais. Trata-se de corpos de água que não estão inseridos no tratamento do gerenciamento nacional de recursos hídricos, tais como água de poço, águas pluviais, ou águas cinzas.

No entanto, quando se pesquisa sobre o reuso de água cinza voltada para obras de construção civil, percebe-se um déficit de estudos relacionados ao seu uso na produção de materiais presentes na indústria. Assim, notou-se a viabilidade de um estudo utilizando água cinza, mais especificamente a proveniente da máquina de lavar, para a produção de argamassa, avaliando os efeitos de tal insumo na qualidade do revestimento argamassado e suas características mecânicas, químicas, microestruturais e microbiológicas. Desta forma, espera-se agregar a pesquisa de maneira positiva, contribuindo para uma indústria civil mais sustentável.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo Geral

Preparar revestimento argamassado utilizando blends de 25 e 50% água cinza (AC) e estudar suas propriedades químicas, físicas, mecânicas, microestruturais e microbiológicas comparando-as com argamassa feita com água potável da concessionária (CAGECE) e a argamassa feita com 100% AC.

#### 3.2 Objetivos Específicos

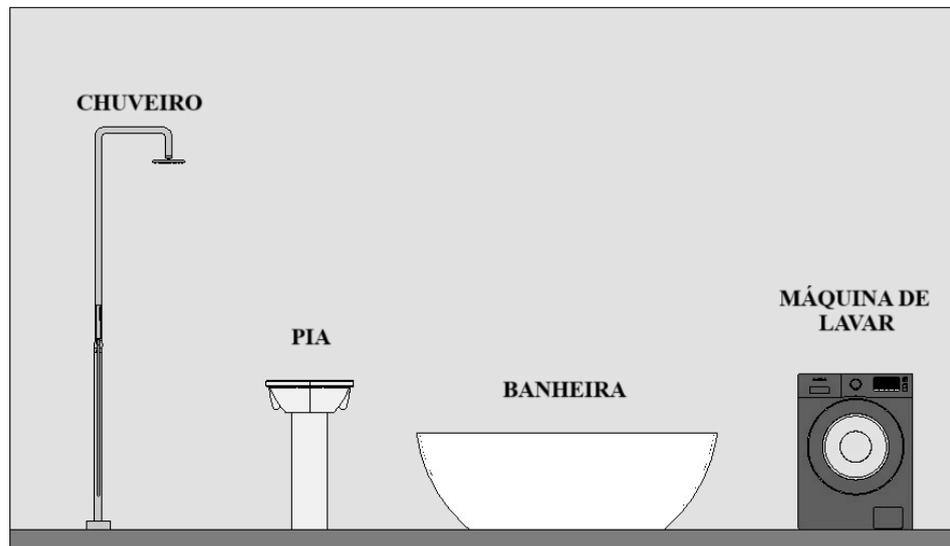
- Estudar as propriedades mecânicas da argamassa, através dos testes de tração na flexão e compressão axial;
- Analisar as características microestruturais presentes na argamassa composta por água cinza, utilizando o FTIR;
- Investigar a área superficial específica, volume e diâmetro dos poros do material, através do BET;
- Identificar e quantificar bactérias do tipo coliformes totais, e coliformes termotolerantes (*E. Coli*) na argamassa com 7 e 28 dias de cura utilizando o colilert e o número mais provável (NMP).
- Analisar a presença de fungos na argamassa através do método *spread plate*.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Água Cinza

A ANA, em seu manual de Conservação e Reuso da Água define água cinza (AC) como um “efluente que não possui contribuição da bacia sanitária”, ou seja, são águas residuais provenientes de pias, chuveiros, banheiras ou lavanderias. Este tipo de esgoto é produzido de forma significativa em vários setores da sociedade, seja doméstico, industrial ou comercial. A Figura 1 exemplifica os pontos de produção de AC.

Figura 1 - Fontes de água cinza.



Fonte: Autor (2022).

A quantidade e qualidade da água cinza produzida depende de vários fatores, podendo variar de acordo com o ponto hidráulico da residência, tamanho da comunidade, entre outros. No geral, o volume deste tipo de água residual produzida pode variar entre 50 a 80% em ambientes domésticos (AL-MASHAQBEH *et al.*, 2012).

A Tabela 1 apresenta uma pesquisa da porcentagem de consumo de água dos pontos hidráulicos residenciais em relação ao consumo doméstico total.

Tabela 1 - Consumos domésticos usuais em diversos equipamentos residenciais.

Ponto de Utilização	Barreto (2008)	American Water Works Association (AWWA) (2001)	PNCDA (1998)	Ghisi e Ferreira (2007)	Deoreo et al. (2016)	
					1999	2016
Lavatório	4,2	15,4	8	33,9	15,7	19
Pia de cozinha	12		18		-	-
Tanque	5,4	-	3	-	-	-
Bacia Sanitária	5,5	26,1	5	32,8	26,7	24,2
Tanque com máquina de lavar roupa	8,3	-	-	-	-	-
Tanquinho de lavar	9,2	-	-	-	-	-
Máquina de lavar roupas	10,9	22,7	11	3,7	21,6	16,4
Banheira	-	1,8	-	-	1,7	2,6
Chuveiro	13,9	17,8	55	18,6	16,7	19
Lavadora de Pratos	-	1,4	-	-	1,4	1,2
Outros usos	30,6	14,8	-	11	16	17,8
Consumo per capita	262,7	-	-	172,3	315,1	266,4

Fonte: Fiori et al. (2008) *apud* Costa e Mota (2021).

\*Valores em percentagem (%)

Em quase todos os estudos apresentados na Tabela 1, é perceptível que a maior geração de águas residuais é proveniente da bacia sanitária no entanto, este ponto hidráulico possui a maior carga contaminante de resíduos orgânicos, o que torna a sua utilização de forma bruta impossível e seu tratamento mais difícil. Porém, é possível observar que outros pontos, como a máquina de lavar, produzem uma quantidade significativa de AC e tem uma contaminação microbiológica menor do que as águas produzidas na bacia sanitária, o que torna este efluente um candidato promissor para o reuso.

A Tabela 2 apresenta a avaliação qualitativa das águas cinzas geradas por estes pontos de acordo com Bazzarella (2005).

Tabela 2 - Parâmetros qualitativos de água cinza.

Parâmetros	Siegrist et al. (1976)					Christova-Boal et al. (1998)		Almeida et al. (1999)			
	Chuveiro/ Banheira	Pia de Cozinha	Lava Louças	Lava Roupas	Enxague de Roupa	Banheiro	Lavanderia	Banheira	Lavatório	Chuveiro	Pia de Cozinha
<b>Físicos</b>	mg/l exceto onde indicado										
Temperatura (°C)	29	27	38	32	28	-	-	-	-	-	-
Turbidez (UT) <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	60 - 240	50 - 210	-	-	-	-
ST <sup>2</sup>	250	2410	1500	1340	410	-	-	-	-	-	-
SST <sup>3</sup>	120	720	440	280	120	-	-	54	181	200	235
<b>Químicos</b>	mg/l exceto onde indicado										
pH	-	-	-	-	-	6,4 - 8,1	9,3 - 10	-	-	-	-
Condutividade de (µS/cm)	-	-	-	-	-	82 - 250	190 - 1400	-	-	-	-
Alcalinidade	-	-	-	-	-	24 - 43	82 - 200	-	-	-	-
DBO <sub>5</sub> <sup>4</sup>	170	1460	1040	380	150	76 - 200	48 - 290	-	-	-	-
DQO <sup>5</sup>	-	-	-	-	-	-	-	210	298	501	644
Óleos e Graxas	-	-	-	-	-	37 - 78	8,0 - 35	-	-	-	-
Cloreto	-	-	-	-	-	9,0 - 18	9,0 - 88	-	-	-	-
<b>Microbiológicos</b>	por 100 ml exceto onde indicado										
Coliformes Totais	70 - 8200	-	-	85 - 8,9x10 <sup>5</sup>	190 - 1,5x10 <sup>5</sup>	500 - 2,4x10 <sup>7</sup>	2,3x10 <sup>3</sup> - 3,3x10 <sup>5</sup>	-	-	-	-
Coliformes Fecais	1 - 2500	-	-	9 - 1,6x10 <sup>4</sup>	35 - 7,1x10 <sup>3</sup>	170 - 3,3x10 <sup>3</sup>	110 - 1,09x10 <sup>3</sup>	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Bazzarella (2005).

\*Unidade de turbidez<sup>1</sup>; ST - Sólidos Totais<sup>2</sup>; SST - Sólidos Suspensos Totais<sup>3</sup>; DBO<sub>5</sub> - Demanda Bioquímica de Oxigênio<sup>4</sup>; DQO - Demanda Química de Oxigênio<sup>5</sup>.

As características físicas, químicas e microbiológicas da água cinza influenciam diretamente na viabilidade do reuso da água. Altas temperaturas podem favorecer o crescimento de microorganismos enquanto, a alcalinidade e a dureza elevados pode entupir tubulações e quantidades exageradas de coliformes fecais podem significar risco de saúde a humanos (BAZZARELLA, 2005; ERIKSSON *et al.*, 2002; ROSE *et al.*, 2002). Dessa forma, dependendo da carga contaminante da AC, é necessário cuidado em seu manuseio, ou até mesmo um tratamento que viabilize sua utilização.

Sistemas voltados ao reuso de água já podem ser encontrados em diversos países, o que demonstra que a prática não é recente (PIDOU *et al.*, 2007). Países como Israel, Singapura e Malta, estão na vanguarda do aproveitamento de águas residuárias, apresentando

taxas de tratamento e reuso de 80, 40 e 30%, respectivamente, devido a sua localização em regiões de escassez hídrica (ZHU *et al.*, 2018).

Segundo a Environmental Protection Agency - EPA (2012), os principais motivos para pesquisa e adoção da utilização de águas cinzas são a escassez e o uso de recursos hídricos e a diminuição da poluição ambiental. No entanto, a possibilidade de reuso destes efluentes continua sendo uma alternativa pouco explorada devido a disponibilidade hídrica, mesmo após o Fórum Econômico Mundial ter listado a crise hídrica como risco de impacto global e pesquisas evidenciarem a água de reuso como sendo uma alternativa viável para atividades não potáveis, tais como, irrigação, demandas domésticas e uso industrial variado (ROCCARO; VERLICCHI, 2018).

A reutilização de águas cinzas é uma alternativa possível para a diminuição do consumo de água em atividades de irrigação, limpeza de calçadas, entre outros. No entanto, o reuso na construção civil, especialmente para produção de cimento e concreto, ainda é um tema pouco explorado no mundo.

#### **4.2 Consumo e Reuso de Água na Construção Civil**

A construção civil necessita da água para continuar sua produção, sendo um setor que utiliza grandes quantidades deste recurso, se enquadrando como o segundo item mais importante para o ramo, atrás apenas da mão de obra (ANA, 2005). Ela está presente em toda a cadeia construtiva, seja para consumo humano, limpeza de maquinário ou produção de materiais para utilização na obra. Porém, tal recurso é finito e não renovável, trazendo questionamentos ao seu uso em setores que não necessitam da utilização da água potável. A minimização do consumo de água mediante o aproveitamento de águas da chuva e reuso de águas cinzas para atividades que não envolvem o consumo humano, como abastecimento de vasos sanitários, limpeza de piso, irrigação de jardins, entre outros, diminui a crise no abastecimento de água (FIORI, 2008).

Existem sistemas desenvolvidos para captação de águas da chuva e residuais que são aplicados em alguns prédios, com o intuito de reduzir o consumo de água potável nas edificações. Sua forma de coleta mais simples é através da captação da água de lavanderia em baldes para lavagem de pisos, sendo uma prática bem comum em várias residências de baixo e médio padrão (SANT'ANA *et al.*, 2017). Além desta prática, a criação de sistemas de reuso isolados também é adotada em alguns casos, sendo dividido em dois tipos: sistema de água bruta e sistema de água tratada. A água cinza bruta é geralmente aplicada na irrigação

superficial, sendo feita com a ajuda da gravidade ou utilizando bombas para distribuir tal efluente (NSW, 2008).

Já em relação às fases de construção de uma edificação, a ANA (2005), determina que a água utilizada na área não pode conter mau cheiro, alterar a resistência dos materiais, favorecer a criação de eflorescência por sais, nem ter o risco de contaminar o ser humano através de vírus ou bactérias. Além disso, o órgão estabelece parâmetros para que a água de reuso possa ser utilizada na produção de concreto e em outras atividades voltadas à construção civil, precisando ser uma água de reuso de classe 2. A Tabela 3 demonstra os parâmetros estabelecidos pela ANA.

Tabela 3 - Parâmetros básicos para água de reuso de Classe 2.

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais	$\leq 1000/ \text{mL}$
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	$\leq 1,0 \text{ (mg/L)}$
DBO (mg/L)	$\leq 30 \text{ (mg/L)}$
Compostos orgânicos voláteis	ausente
Sólidos suspensos totais (mg/L)	30 (mg/L)

Fonte: ANA (2005).

### 4.3 Cimento Portland

O material é um aglomerante hidráulico obtido a partir da moagem e calcinação de calcário argiloso (clínquer), tendo em sua consistência uma maior concentração de silicatos de cálcio hidratado (MEHTA E MONTEIRO, 1994). Bauer (2007) diz que o cimento portland tem como principais constituintes a cal (CaO), a sílica (SiO<sub>2</sub>), a alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e certa quantidade de magnésio (MgO), estes óxidos se unem formando os principais compostos do clínquer. Tais componentes do cimento são importantes para entender as propriedades de hidratação, pega e resistência, além de manifestações patológicas que podem ocorrer em concretos e argamassas (FRAZÃO, 2020). A Tabela 4 demonstra os compostos presentes no cimento.

Tabela 4 - Principais compostos do cimento portland.

Nome do composto	Composição em óxidos	Abreviatura
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Fonte: Neville (2016).

De acordo com Neville (2016), as reações químicas que fazem com que o cimento se torne um material aglomerante ocorrem na pasta, feita por água e cimento. Ou seja, o contato da água com os silicatos e aluminatos presentes no cimento, criam materiais hidratados que ao passar do tempo se tornam uma massa que apresenta firmeza e resistência.

O silicato tricálcico ( $\text{C}_3\text{S}$ ) é um componente com abundância de cálcio, sua reação de hidratação em poucas horas após a adição da água, desenvolvendo grande resistência inicial e liberando uma grande quantidade de calor de hidratação. O  $\text{C}_3\text{S}$  em contato com a água, reage produzindo hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e silicato de cálcio hidratado, o CSH, que é responsável por uma porcentagem significativa na resistência do material em todas as idades e compreende cerca de 70% do peso do cimento após o processo de hidratação (NEVILLE, 2016). Além do  $\text{C}_3\text{S}$ , o silicato dicálcico ( $\text{C}_2\text{S}$ ), também é responsável pela formação do CSH e do hidróxido de cálcio, no entanto a sua hidratação ocorre mais lentamente, podendo iniciar após dias de formação do material. Assim, o  $\text{C}_2\text{S}$  é responsável pelo ganho de resistência do material em idades mais avançadas (LIAH, 2016; FRAZÃO, 2020).

Com relação ao aluminato tricálcico ( $\text{C}_3\text{A}$ ), sua quantidade no cimento é pequena, porém sua reação em contato com a água é muito rápida, desse modo ele é geralmente misturado a sulfato de cálcio (gipsita), para retardar a pega instantânea. Isso acontece porque o  $\text{C}_3\text{A}$  tem sua solubilidade diminuída com a presença de íons hidroxila, álcalis e sulfatos, que estão presentes na gipsita e formam a etringita responsável pela diminuição do tempo de pega (LIAH, 2016). A criação da etringita, ou sulfoaluminato de cálcio, acontece quando o  $\text{C}_3\text{A}$  e o sulfato de cálcio reagem (NEVILLE, 2016). Durante a pré-cura do material, essa reação não causa nenhum dano ao produto, pois o cimento ainda está no seu estágio inicial (SHYMADA *et al.*, 2005 apud BRYANT, 2011). Após alguns dias, a etringita se torna instável e se decompõe, formando monossulfoaluminato hidratado (MEHTA E MONTEIRO, 2008).

Porém, um fenômeno chamado formação de etringita tardia (DEF), pode ocorrer na pasta de cimento, devido a ação de sulfatos, o que gera a formação de mais sulfoaluminato de cálcio, causando expansão e a “desagregação da pasta endurecida” (TORRES E ANDRADE, 2016; NEVILLE, 2016). Assim, é necessário o controle sobre a quantidade de sulfatos presente na pasta de cimento, para que não ocorra a perda de resistência pela DEF.

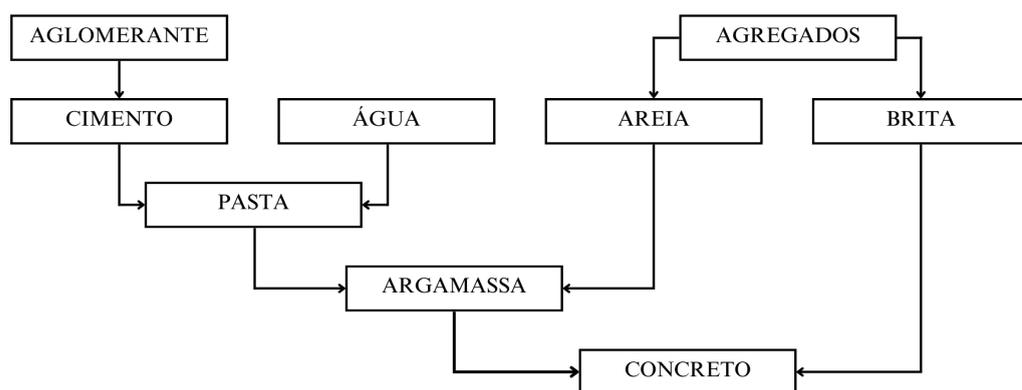
Em relação ao  $C_4AF$ , apesar de representar de 7 a 15% da pasta de cimento, ele desenvolve pouca resistência, libera pouco calor de hidratação e não contribui para a resistência (FRAZÃO, 2020). No entanto Liah (2016), revela que o ferroaluminato tricálcico possui uma resistência à agressão de sulfatos ótima.

Dessa forma, conclui-se que o processo de hidratação do cimento produz gel de CSH e hidróxido de cálcio, proveniente das reações do  $C_3S$  e  $C_2S$ , e a etringita, da reação de  $C_3A$ .

#### 4.4 Revestimento Argamassado

A NBR 13529/95 classifica argamassa como sendo uma mistura composta por agregado miúdo, aglomerantes e água, podendo ou não conter aditivos. Diferenciando-se do concreto, que também tem adição de agregado graúdo, como a brita, para uma maior resistência do material. A Figura 2 mostra um organograma da composição da argamassa e do concreto.

Figura 2 - Composição da pasta de cimento, argamassa e concreto.



Fonte: Adaptado de Lara (2013).

A argamassa produzida em obra é multifacetada, podendo ser utilizada tanto para a construção com alvenaria, como em revestimentos de pisos e paredes. Na alvenaria tem a função de unir os tijolos ou blocos, influenciando na resistência da edificação através da ajuda na distribuição das cargas por todo o bloco. Já a argamassa de revestimento, tem a função de

cobrir a estrutura e impedir a ação de intempéries, no caso de fachadas externas, contribuir para um isolamento térmico e acústico, além de dar acabamento a construção (CARASEK, 2010).

Para se ter uma argamassa de qualidade, é necessário se atentar às suas características, tais como trabalhabilidade, durabilidade, retenção de água, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, entre outros (RECENA, 2012). Os materiais usados para produção de argamassa tem efeito direto na sua resistência e comportamento (MATTA, 2012). Dessa forma, o estudo dos materiais que compõem a argamassa e como estes contribuem ou atrapalham no seu desempenho é algo necessário para se ter um resultado satisfatório da sua aplicação em obra.

As características das argamassas dependem do tipo de cimento utilizado, sendo que ele é o responsável pela junção dos componentes aplicados para a produção do material final (ABCP, 2002). Por conta disso, é necessário a sua correta utilização e o conhecimento das propriedades e características dos cimentos. Assim, a NBR 13281 (2005) “especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos”, com relação a resistência mecânica de compressão axial e tração na flexão, como demonstrado na Tabela 5 e 6.

Tabela 5 - Classificação de resistência à compressão axial.

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	$\leq 2,0$	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	$> 8,0$	

Fonte: Adaptado de ABNT 13281 (2005).

Tabela 6 - Classificação de resistência à tração na flexão.

<b>Classe</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>	<b>Método de ensaio</b>
R1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	$> 3,5$	

Fonte: Adaptado de ABNT 13281 (2005).

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 Água Cinza

O efluente foi coletado na área de lavanderia, mais especificamente da água gerada no uso da máquina de lavar, sendo armazenado em um galão com capacidade de 5 litros. Toda a água foi coletada em um intervalo de até 24 horas, dessa forma preservando as características da água cinza bruta.

Os blends de água cinza usado no amassamento foram realizados por diluição v/v e desta forma pode-se descrever a concentração da seguinte forma:

*Solução de 25%:* 25 mL de AC em 75 mL de água de referência;

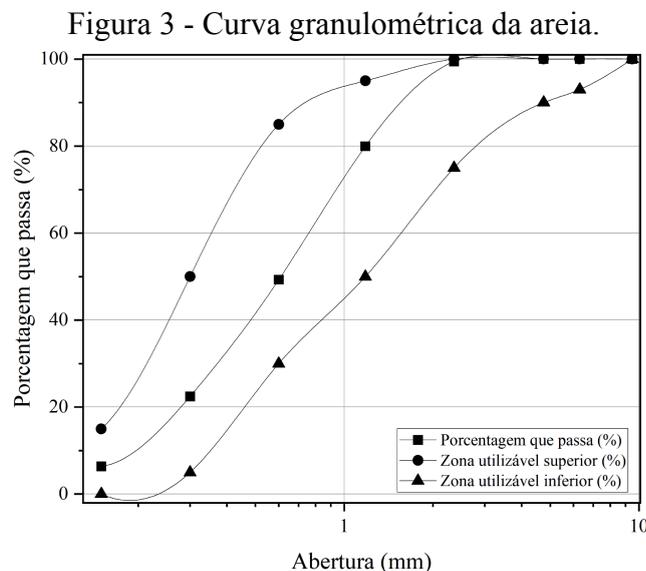
*Solução de 50%:* 50mL de AC em 50 mL de água de referência.

### 5.2 Aglomerante

Foi utilizado o cimento portland CP II Z 32 da marca Poty com especificações definidas pela NBR 16697 (2018).

### 5.3 Agregado

A caracterização do material foi realizada conforme a NBR NM 248 (2003). A Figura 3 apresenta a curva granulométrica do material, que apresentou características satisfatórias para a utilização em CPs, revelando um módulo de finura de 2,42 e um diâmetro máximo característico - DMC, de 2,36.



Fonte: Autor (2023).

#### 5.4 Análises físico-químicas da água cinza

A água cinza usada no amassamento foi analisada no laboratório de química da UFC-Campus Crateús, utilizando como base o Standard Methods (1998). A referida água foi analisada através dos seguintes parâmetros: pH, Cloretos, Alcalinidade, Dureza e Demanda Bioquímica de Oxigênio ( $DBO_5$ ), Sulfatos e Sulfetos.

#### 5.5 Produção da argamassa

A argamassa foi produzida no Laboratório de Materiais da UFC - Campus Crateús utilizando o cimento Portland com areia na proporção de 1:3, respectivamente, e uma relação água-cimento de 0,57. Os corpos de prova foram produzidos com blends com porcentagem de 50 e 25% de água cinza em relação à água da distribuidora, um CP com 100% AC e um composto de 100% de água da distribuidora para comparativo.

O procedimento aplicado para a produção da argamassa foi o descrito pela NBR 16541 (2016). Após a conclusão da mistura, a argamassa foi utilizada para a produção dos corpos de prova – CP de acordo com o descrito pela NBR 13279 (1995). Os moldes utilizados possuem dimensões de 4x4x16cm, como demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Processo de cura dos corpos de provas: a) moldados; b) curados.



Fonte: Autor (2023).

Para cada modificação da água do amassamento, blend de água cinza, referência e 100% de água cinza, foram produzidos doze corpos de prova sendo, seis para o teste mecânicos realizados com sete dias e seis para os testes mecânicos realizados com vinte e oito dias.

#### 5.6 Ensaios de tração na flexão e compressão axial

Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil - LMCC, na Universidade Federal do Ceará em Fortaleza. Os ensaios de tração e compressão foram realizados de acordo com a NBR 13279 (2005).

### 5.7 Análise de infravermelho - FTIR

Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier - FTIR, é uma técnica analítica que busca entender a estrutura molecular de materiais através da utilização da luz infravermelha (IV), escaneando as amostras e suas propriedades (TOLEDO, 2021).

Os corpos de prova de 100, 50 e 25% AC e o de 100 AR foram pulverizados e misturados à Brometo de Potássio (KBr) para a análise de FTIR no equipamento SHIMADZU FTIR - 8500 na região do infravermelho entre 4000 e 400  $\text{cm}^{-1}$ , no laboratório de mecânica dos pavimentos na UFC, em Fortaleza, .

### 5.8 Adsorção/dessorção

A adsorção de gases é uma técnica utilizada para a caracterização da textura em sólidos porosos e finos. Através desta análise é possível determinar a área superficial do material, bem como o tamanho dos poros e seu volume (THOMMES et. al, 2015).

As análises foram obtidas a partir da curva isotérmica de adsorção/dessorção em gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) a temperatura de 196°C usando um Autosorb iQ3 (Quantachrome Instruments-5.0). As amostras foram desgasificadas a 120°C sob vácuo ( $10^{-6}$  bar) durante 4h. A superfície específica de todos os materiais foi calculada usando a equação de Brunauer-Emmett-Teller (BET). Distribuição do tamanho dos poros (PSD) de cada amostra foi obtido usando o método BJH usando o ramo de dessorção. O volume total dos poros foi calculado a partir da isoterma de adsorção em  $P/P_0 = 0,985$ . As análises foram realizadas no Laboratório de Pesquisas em Adsorção e Captura de  $\text{CO}_2$  na UFC em Fortaleza.

### 5.9 Análises microbiológicas

Foram realizadas as análises de coliformes totais e termotolerantes (*E. coli*), além da presença de fungos nas argamassas estudadas.

#### a) Coliformes totais e *escherichia coli*

Para analisar a presença ou ausência de coliformes totais e *escherichia coli*, utilizou-se o teste colilert da IDEXX. A análise consiste em verificar a presença da referida bactéria em água através do substrato cromogênico Enzimático Colilert. Para tanto, foi usado 100 mL de cada amostra e uma ampola de substrato Colilert em frasco estéril. Posteriormente a homogeneização, o frasco foi incubado 37°C por 24 horas e o resultado de presença ou ausência observados após a exposição à luz UV (MARTINS E RESENDE, 2020; IDEXX, 2017).

Os testes quantitativos foram realizados no Laboratório de biologia da faculdade de educação e ciências integradas - FAEC, em Crateús, pelo método do Número Mais provável (NMP), usando como meio de cultura o caldo Lauril Triptose, descrito na norma técnica da CETESB, L5.202/2018.

#### **b) Fungos**

A análise de fungos qualitativa foi realizada pela empresa SustECO através do método descrito pela American Public Health Association - APHA, utilizando um meio de cultura Potato Dextrose Agar. As amostras foram coletadas e deixadas para descansar por um período de 7 dias para a detecção de formação de colônias.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 Caracterização físico-química da água cinza

A resolução do CONAMA 430/11, para lançamento de efluentes, a PORTARIA GM/MS 888/21, portaria do ministério da saúde que norteia potabilidade da água e a NBR 15900/09, para produção concretos, definem a qualidade da água, de acordo com a usabilidade.

A Tabela 8 apresenta um comparativo entre as resoluções e os resultados obtidos para a água cinza proveniente da lavanderia usada no amassamento nesta pesquisa.

Tabela 7 - Caracterização química da água cinza.

Análises	Concentração Média	CONAMA 430/11	PORTARIA GM/MS 888/21	NBR 15900-1/09
Cloretos (mg/L)	3118,32	-	≤ 250	≤ 4500
Dureza (mg/L)	142,13	-	≤ 300	-
DBO5 (mg/L)	36,61	≤ 120	-	-
pH	6	5 - 9	6 - 9,5	≥ 5
Alcalinidade (mg/L)	141,88	-	≤ 250	≤ 1500
Sulfetos (mg/L S)	0,0685	≤ 1	≤ 0,05	-
Sulfatos (mg/L)	0,1415	-	≤ 250	≤ 2000

Fonte: Autor (2023).

#### a) Cloretos

O valor da concentração de cloro encontrado na água cinza de estudo foi de três mil cento e dezoito miligramas por litro sendo o valor menor que o definido pela NBR 15900/09 para produção de concretos simples. Cabe ressaltar que águas com uma grande concentração de cloretos podem causar a deterioração de superfícies metálicas devido aos processos corrosivos e por este motivo NBR 15900/09 limita o valor em quatro mil e quinhentos miligramas por litro. É importante salientar que não há limites previstos para a argamassa e, portanto, o uso deste dado é apenas para controle em caso de uso em concreto.

#### b) Dureza

A dureza de uma água está diretamente ligada a presença de cálcio e magnésio, bem como bicarbonatos, carbonatos e sulfatos. Assim, quanto maior a quantidade destes sais presentes na água, mais dura ela será. A amostra analisada apresentou valor de dureza de

cento e quarenta e dois miligramas por litro de carbonato de cálcio, estando em conformidade com a Portaria GM/MS 888/21 e sendo considerada uma água dura. Não há registro de limites de cálcio e magnésio na NBR 15900/09, mas a literatura relata uma importante contribuição destes elementos químicos na reação de hidratação do cimento (NEVILLE, 2016). Os mecanismos de hidratação do cimento são sistemas complexos que variam com as condições experimentais. Estudos sistemáticos deste material são difíceis, pois o CP - II Z 32 possui produtos de hidratação com várias fases cristalinas, cuja cura final depende fortemente das condições experimentais.

#### **c) Demanda bioquímica de oxigênio - DBO<sub>5</sub>**

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) é a medida que indica a quantidade de matéria orgânica na água cinza estudada. Observa-se que o valor de trinta e seis miligramas por litro é menor do que o estabelecido pela CONAMA 430/11 para lançamento de efluentes de fontes poluidoras. Segundo Soares (2013), a presença de altos teores de matéria orgânica pode refletir diretamente na hidratação do cimento, conduzindo a um consumo mais elevado de água, podendo interferir na resistência mecânica. É importante salientar que o amassamento deste estudo foi realizado com água cinza em tempo inferior a 24h da coleta, o que favorece a um teor de matéria orgânica dentro dos limites estabelecidos pela CONAMA 430/11.

#### **d) pH**

As pastas cimentícias possuem um valor de pH maior que 12 devido a produção de hidróxidos durante a reação de hidratação do cimento (CATARINO, 2012). O pH observado para a água cinza foi de 6 e portanto dentro do valor permitido pela NBR 15900/09 não interferindo na reação de hidratação.

#### **e) Alcalinidade**

A alcalinidade na AC contribui para a formação da camada de passivação responsável pela proteção contra corrosão de armaduras metálicas no concreto armado. O valor encontrado de cento e quarenta e um miligramas por litro está dentro dos padrões da Portaria GM/MS 888/21 e da NBR 15900/09. Porém, a argamassa não tem contato direto com estruturas metálicas, assim, não é possível afirmar que há uma influência negativa desse parâmetro na reação de hidratação.

## f) Sulfatos e sulfetos

Sulfato é um sal inorgânico originado do ácido sulfúrico e solúvel em água. Este material é bastante utilizado em materiais de limpeza, pois age como surfactante aniônico e concede ao produto um alto poder de limpeza e de geração de espuma. Este composto pode reagir com os componentes do concreto e argamassa, como o cimento hidratado, causando o chamado ataque por sulfatos e acarretando na expansão do material, provocando trincas e fissuras e resultando na perda de resistência do material (PEDROSO, 2021). A concentração média apresentada pela amostra, de 0,1415 mg/L, está em conformidade com a Portaria GM/MS 888/21 e com a NBR 15900/09.

A presença de sulfatos em quantidades superiores às definidas pela NBR 15900/09 pode interferir significativamente na reação de hidratação do cimento diminuindo o tempo de cura. Dependendo da quantidade de sulfato no cimento, a etringita pode perder a estabilidade e decompor-se, formando o monossulfato hidratado, um composto mais estável e compatível com aluminatos de cálcio hidratado (MEHTA E MONTEIRO, 2014). Além disso, a presença de sulfatos livres pode facilitar a corrosão das barras de aço quando usados em concretos.

Os íons sulfetos são uma consequência da redução dos sulfatos na água e da decomposição biológica de materiais orgânicos que contêm enxofre em sua composição (FAGNANI et. al, 2011). A norma NBR 15900/09 não informa limites a serem obedecidos para o uso no concreto, no entanto, Dobrovolski (2021) descreve que o ataque interno provocado por sulfatos pode ter origem nos sulfetos o qual pode sofrer processos oxidativos liberando íons sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) que pode reagir com hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) gerando sais expansivos como sulfato de cálcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e sulfoaluminato de cálcio hidratado ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ), provocando tensões na estrutura, fissuras e redução na resistência mecânica.

## 6.2 Resistência dos corpos de prova à tração na flexão

Para Mehta e Monteiro (2014), a capacidade de suportar um esforço de tensão sem que haja rompimento é o que classifica a resistência de um material. As Tabelas 8 e 9 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos na análise de tração na flexão em 7 e 28 dias como os CPs.

Tabela 8 - Resistência à tração na flexão (MPa) - 7 dias.

Corpos de Prova	25 % Água Cinza	50 % Água Cinza	100% Água Cinza	100% Água Cagece
CP 1	4,10	4,80*	2,70	3,00*
CP 2	4,90*	3,60	2,00	4,00
CP 3	4,10	3,50	2	3,70*
CP 4	5,70*	4,30*	2,30	4,20
CP 5	3,90	3,70	2,20	4,50
CP 6	-	-	2,30	2,40*
Média	4,03	3,60	2,32	4,23
Desvio Padrão %	0,12	0,10	0,23	0,25

Fonte: Autor (2023).

\*valores descartados de acordo com a NBR 13279/05

Tabela 9 - Resistência à tração na flexão (MPa) - 28 dias.

Corpos de Prova	25 % Água Cinza	50 % Água Cinza	100% Água Cinza	100% Água Cagece
CP 1	5,40*	5,70*	4,90*	3,10*
CP 2	4,90	4,60	3,20	2,20*
CP 3	4,80	4,40	3,40	2,50*
CP 4	4,60	4,50	2,70*	4,80
CP 5	4,70	4,90	3,10	3,90*
CP 6	-	-	3,00	4,50
Média	4,75	4,60	3,18	4,65
Desvio Padrão %	0,13	0,22	0,17	0,21

Fonte: Autor (2023).

\*valores descartados de acordo com a NBR 13279/05

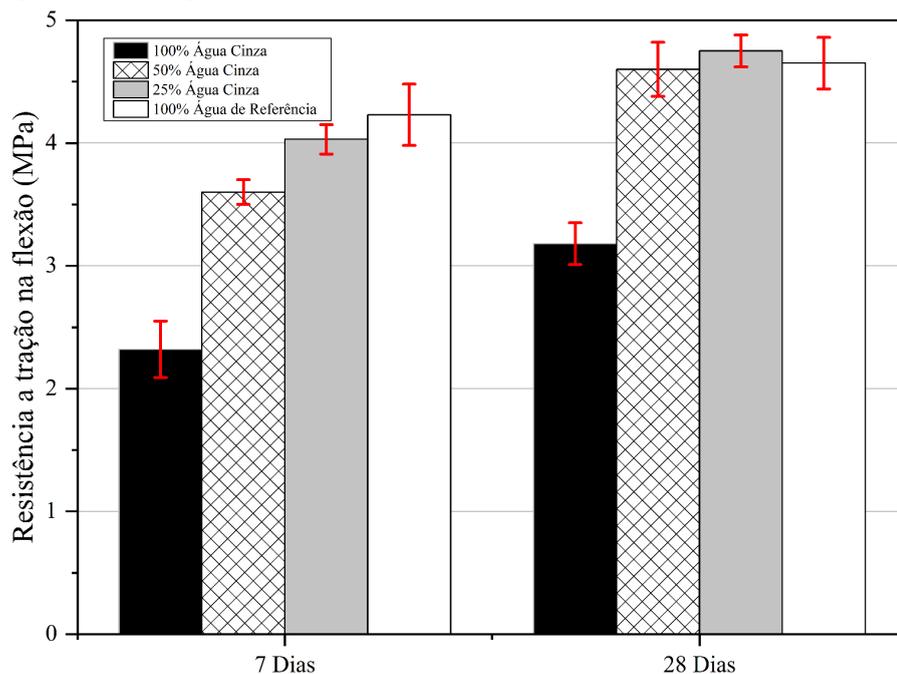
Observa-se na Tabela 8 que os ensaios realizados com 7 dias de cura apresentaram diminuição da resistência à tração à medida que a porcentagem de água cinza aumenta. Verificou-se, ainda, que os materiais com 100% água de referência e 25% AC apresentaram resultados similares de 4,23 ( $\pm 0,25$ ) e 4,03 ( $\pm 0,13$ ), respectivamente. Já a amostra de 100% AC teve o resultado mais baixo, com uma resistência de 2,32 ( $\pm 0,23$ ) MPa, certamente devido ao fato de conter uma quantidade de matéria orgânica superior às demais blens, o que necessita de uma relação água cimento maior. É importante ressaltar que embora esta resistência seja a menor comparada às demais, os valores encontrados não se encontram abaixo dos tabelados pela norma NBR 13279/05. Outro indicativo desta resistência ser menor

deve-se à presença de sulfatos que podem contribuir na formação de géis de etringita (NEVILLE, 2016).

A análise realizada aos 28 dias de cura (Tabela 9) apresentou um aumento na resistência de todos os CPs, com os blends de 25 e 50% de AC. Tal comportamento também foi evidenciado pelo amassamento feito com água da companhia de água e esgoto do Ceará (CAGECE). Apesar do CP de 100% AC obter o valor menor de resistência quando comparado aos demais, observou-se uma melhoria na resistência chegando ao valor de 3,18 ( $\pm 0,17$ ) corroborando com a discussão sobre a formação etringita provocada pela presença de sulfatos.

A Figura 5, apresenta a evolução da cura entre os corpos de provas através da comparação da resistência à tração na flexão nos períodos de 7 e 28 dias.

Figura 5 - Comparação da resistência à tração na flexão entre 7 e 28 dias.



Fonte: Autor (2023).

Observa-se que após 28 dias de todas as amostras obtiveram melhoria na resistência à tração na flexão. Percebe-se que com 28 dias as amostras tiveram sua resistência à tração na flexão aumentadas em torno de 1,79 vezes para o blend de 25% AC, 1,28 vezes para o Blend 50% AC, 1,37 vezes para o amostra com 100% AC e 1,09 vezes para amostra com 100% AR. Estes valores mostram que a cura do corpo de prova com água de referência se deu quase que totalmente nos 7 primeiros dias, evoluindo de forma menos intensa até os 28 dias. Já nos CPs com AC houve um possível efeito retardante de pega devido a concentração

de matéria orgânica presente na água, o que ocasionou em um tempo maior para completar a cura, refletindo nos valores de resistência de tração na flexão no período de 7 dias. Esta afirmação é reforçada por Moreira (2004), que descreve a influência do tipo de matéria orgânica no amassamento. Para Moreira os ácidos húmicos ou hidratos de carbono retardam a pega mas, não interferem na resistência do material. Já as derivadas de algas podem provocar variações negativas na resistência à compressão. O efeito negativo da matéria orgânica no tempo de pega também é relatado por Tafarel em 2016. Em seu artigo, os efeitos negativos na reação de hidratação do cimento são compensados pela adição de maior quantidade de água durante a mistura da massa.

Apesar da cura mais lenta aos 28 dias o os CPs com AC, em especial os feitos com Blends, tiveram sua resistência melhorada chegando aos valores de 50% AC equiparar-se com os valores do CP com água de referência e o de 25% AC superá-lo.

### 6.3 Resistência dos corpos de prova à compressão axial.

Os resultados do ensaio de compressão axial em 7 e 28 dias para os materiais com as porcentagens de 25, 50 e 100% AC e 100% AR foram calculados seguindo a NBR 13279/05 e estão expressos nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Resistência à compressão axial (MPa) - 7 dias.

Corpos de Prova	25 % Água Cinza	50 % Água Cinza	100% Água Cinza	100% Água Cagece
CP 1	15,84	13,89*	7,02*	12,59*
CP 2	13,58*	13,69	8,24*	11,15
CP 3	15,62	15,87*	9,83	12,78*
CP 4	15,22	12,74	10,12	11,95
CP 5	15,49	13,48	9,41	11,16
CP 6	16,45*	13,79	9,07	12,84*
CP 7	13,49*	14,13*	10,01	12,87*
CP 8	14,83	14,25*	8,59	13,04*
CP 9	14,76	12,72	9,46	10,92
CP 10	13,48*	13,63	9,45	11
CP 11	13,02*	14,55*	8,04*	11,22
CP 12	14,72	12,75	7,99*	11,69
Média	15,21	13,26	9,49	11,30
Desvio Padrão %	0,45	0,50	0,50	0,38

Fonte: Autor (2023).

\*valores descartados de acordo com a NBR 13279/05

Para o ensaio em 7 dias, expresso na Tabela 10, a amostra com maior resistência à compressão foi a de 25% água cinza, com 15,21 ( $\pm 0,45$ ) MPa, seguida pela amostra de 50%, com 13,26 ( $\pm 0,50$ ) MPa, 100% AR, com 11,30 ( $\pm 0,38$ ) MPa e a de 100% AC, com 9,49 ( $\pm 0,50$ ) MPa.

Tabela 11 - Resistência à compressão axial (MPa) - 28 dias.

Corpos de Prova	25 % Água Cinza	50 % Água Cinza	100% Água Cinza	100% Água Cagece
CP 1	18,46*	23,18*	9,95*	16,76*
CP 2	20,58	20,70*	13,13*	17,73
CP 3	20,38	21,63*	11,40	16,5*
CP 4	21,00*	20,75*	9,49*	15,96*
CP 5	18,68*	18,24	11,33	18,53*
CP 6	19,51	22,68*	9,27*	16,71*
CP 7	19,97	18,46	11,42	18,52*
CP 8	19,14	22,44*	10,34*	18,42*
CP 9	19,53	19,51*	9,98*	20,3*
CP 10	19,72	21,94*	10,07*	17,27
CP 11	19,76	17,94	12,19	17,15
CP 12	21,60*	18,02	11,33	17,03
Média	19,82	18,17	11,53	17,30
Desvio Padrão %	0,47	0,23	0,37	0,31

Fonte: Autor (2023).

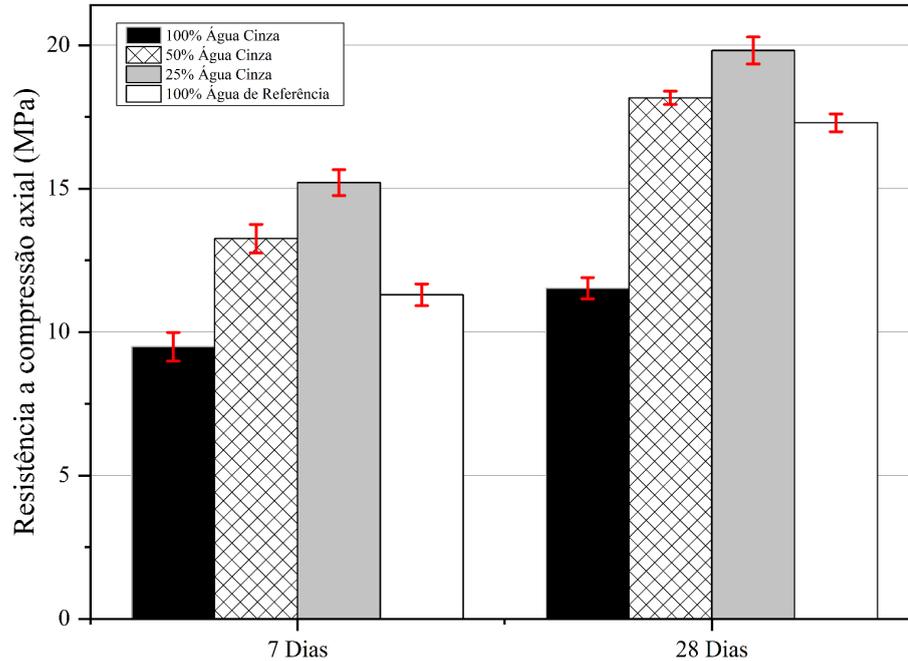
\*valores descartados de acordo com a NBR 13279/05

Aos 28 dias estima-se que a amostra de argamassa tenha atingido um valor próximo a sua resistência máxima. Desse modo, os CPs também foram submetidos à análise nessa idade de cura e seus resultados estão expostos na Tabela 11.

Observa-se que no ensaio de compressão, a amostra que apresentou uma maior resistência aos 28 dias foi a produzida com 25% AC, apresentando um resultado, em MPa, de 19,82 ( $\pm 0,47$ ). Além disso, a amostra com 50% AC apresentou valores maiores que a de 100% água de referência, sendo eles, respectivamente, de 18,17 ( $\pm 0,23$ ) e 17,30 ( $\pm 0,31$ ). Neste ensaio o CP com 100% AC exibiu uma resistência de 11,53 ( $\pm 0,37$ ) MPa sendo este o menor valor de compressão observado para as amostras estudadas. Este resultado para 100% AC fortalece a presença dos interferentes já mencionados anteriormente nos ensaios de tração na flexão.

A Figura 6 apresenta os resultados da compressão axial em 7 e 28 dias e o reflexo deste com a evolução da cura dos CPs.

Figura 6 - Comparação da resistência à compressão axial entre 7 e 28 dias.



Fonte: Autor (2023).

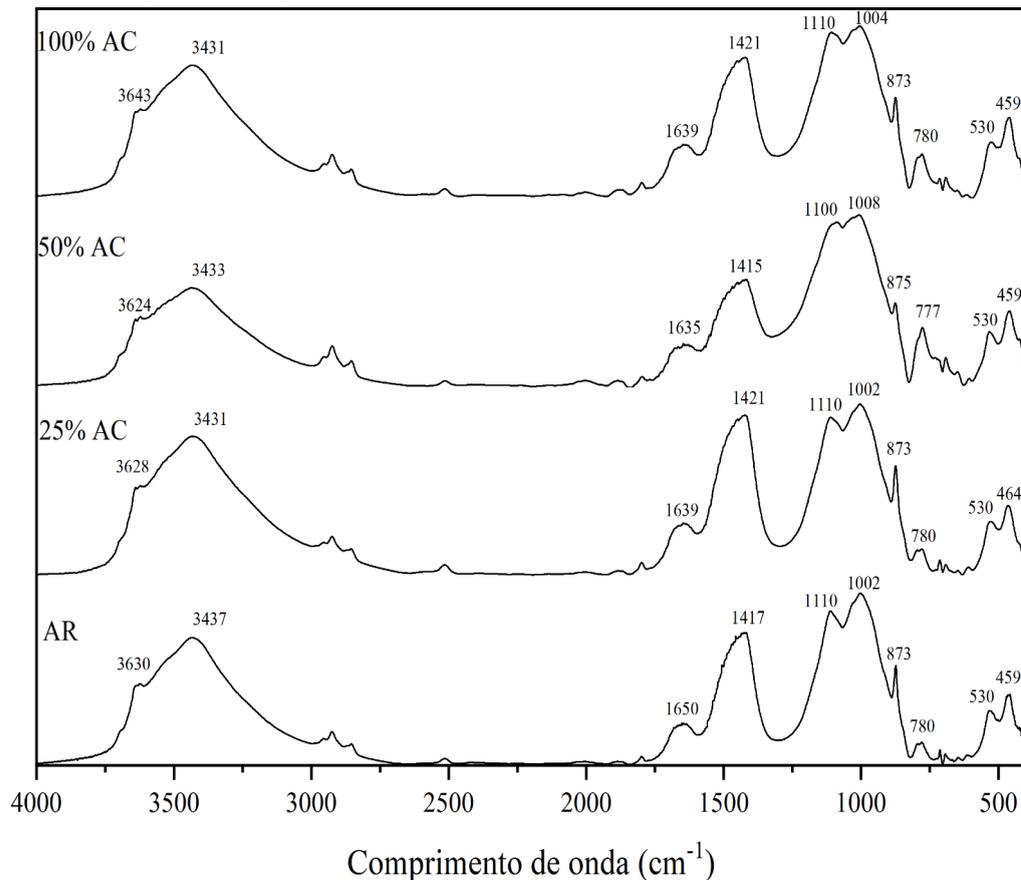
Analisando a Figura 6, verifica-se que todas as argamassas apresentaram um aumento no seu valor de resistência ao longo do tempo, com destaque para as argamassas de 25 e 50% AC.

Observa-se que com 28 dias as amostras tiveram sua resistência à tração na flexão aumentadas em torno de 1,30 vezes para o blend de 25% AC, 1,37 vezes para o Blend 50% AC, 1,19 vezes para o amostra com 100% AC e 1,56 vezes para amostra com 100% AR. Apesar do CP feito com água de referência ter seus valores de compressão axial melhorados 1,56 vezes quando comparados com os valores no período de 7 dias a amostra apresentou valores menores comparados aos blends de 25 e 50% AC. Percebe-se também que, ao reduzir o percentual da AC nos CPs, houve uma melhora nos valores de compressão axial.

#### 6.4 Análise de infravermelho - FTIR

A Figura 7 apresenta os espectros de infravermelho para todas as amostras com blends de AC e AR analisados nas faixas de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ . A Tabela 12 apresenta os valores de comprimento de onda, respectivas ligações químicas e os compostos que as constituem. É importante lembrar que os constituintes em questão são em maioria correspondentes ao cimento e sua respectiva reação de hidratação. Os picos referentes à areia encontram-se em regiões inferiores a 400  $\text{cm}^{-1}$  e por isso não são visíveis no espectro.

Figura 7 - Espectros de absorção de radiação no infravermelho.



Fonte: Autor (2023).

Observa-se no espectro de infravermelho um pico em aproximadamente  $3643\text{ cm}^{-1}$  correspondente ao estiramento simétrico do OH de hidróxido de cálcio.

A banda por volta de  $3440\text{ cm}^{-1}$  e  $1646\text{ cm}^{-1}$  correspondem respectivamente ao alongamento do grupo O–H e vibrações de dobramento da molécula de água (LEE *et al.*, 2015). Esta região foi evidenciada para todas as argamassas curadas após 28 dias e estão relacionadas com absorção de água pelo silicato de cálcio durante o processo de hidratação (PANZERA *et al.*, 2010). O processo de hidratação também pode ser evidenciado pela presença dos picos em  $1100\text{ cm}^{-1}$  e  $1000\text{ cm}^{-1}$  referente a ligação S-O de sulfato de cálcio penta e di-hidratado (XAVIER *et al.*, 2016).

O comprimento de onda observado em  $1420\text{ cm}^{-1}$  e  $873\text{ cm}^{-1}$  refere-se a ligação C-O do carbonato de cálcio presente na calcita (KAPELUSZNA, *et al.*, 2017; JANOTKA *et al.*, 1996; MOLLAH *et al.*, 1988).

A banda registrada em aproximadamente  $780\text{ cm}^{-1}$  corresponde à ligação Al-O confirmando a presença de aluminossilicato do cimento portland. Os três maiores constituintes do cimento também são evidenciados pelos picos  $530$  e  $459\text{ cm}^{-1}$  correspondentes às ligações

Si-O e Al-O. É importante ressaltar que o grupamento Si-O também pode ser evidenciado na região de  $1000\text{ cm}^{-1}$ . No espectro apresentado na Figura 7 este pico parece estar sobreposto com o pico do grupamento S-O referente ao CSH do cimento.

Tabela 12 - Bandas obtidas pela FTIR e respectivas vibrações dos principais grupos integrantes das fases relacionadas.

N. de onda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Tipo de ligação	Fase	Fontes
3643	O-H	$\text{Ca(OH)}_2$	MOLLAH <i>et al.</i> (1998); JANOTKA <i>et al.</i> (1996).
3440	O-H	C-S-H	LEE <i>et al.</i> (2015); PANZERA <i>et al.</i> , 2010
1646	O-H	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	HUGHES <i>et al.</i> (1995); DOMÉNECH CARBÉ <i>et al.</i> (1997).
1420	C-O	(Calcita) - $\text{CaCO}_3$	KAPELUSZNA <i>et al.</i> (2017); MOLLAH <i>et al.</i> (1998); JANOTKA <i>et al.</i> (1996).
1100	S-O	$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	VARAS <i>et al.</i> (2005).
1000	Si-O	(C-S-H) - $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	VARAS <i>et al.</i> (2005). HUGHES <i>et al.</i> (1995).
873	C-O Al-O Si-O	$\text{CaCO}_3$ (C3S) - $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S) - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3A) - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	MOLLAH <i>et al.</i> (1998); HUGHES <i>et al.</i> (1995); JANOTKA <i>et al.</i> (1996); TAYLOR (1990).
780	Al-O	(C3A) - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	TAYLOR (1990); HUGHES <i>et al.</i> (1995).
530	Si-O Al-O	(C3S) - $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S) - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3A) - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	TAYLOR (1990); HUGHES <i>et al.</i> (1995); MOLLAH <i>et al.</i> (2000)
460	Si-O Al-O	(C3S) - $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C2S) - $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (C3A) - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	MOLLAH <i>et al.</i> (1998); TAYLOR (1990); RODRIGUES (2013);

Fonte: Adaptado de Galvão (2010).

Observa-se um aumento das bandas por volta de  $780\text{ cm}^{-1}$ , associado a vibrações do Al-O, à medida que a porcentagem de AC aumentou, indicando uma possível interferência da AC na reação. Tal interferência, como mostrado em outros resultados, parece indicar uma zona limite para o uso da AC na argamassa. Assim, em concentrações superiores a 50% de

AC, essa interação reacional parece funcionar negativamente com reflexo na redução da resistência do material.

Utilizando a concentração de sulfatos da AC expressa na Tabela 7, e levando em consideração a tendência encontrada nos espectros de infravermelho, foi possível descobrir a concentração de sulfato para as amostras com 50% e 25% AC (Tabela 13).

Tabela 13 - Concentração de sulfato nos CPs.

Amostra	Concentração (mg/L)
50% AC	0,071
25% AC	0,035

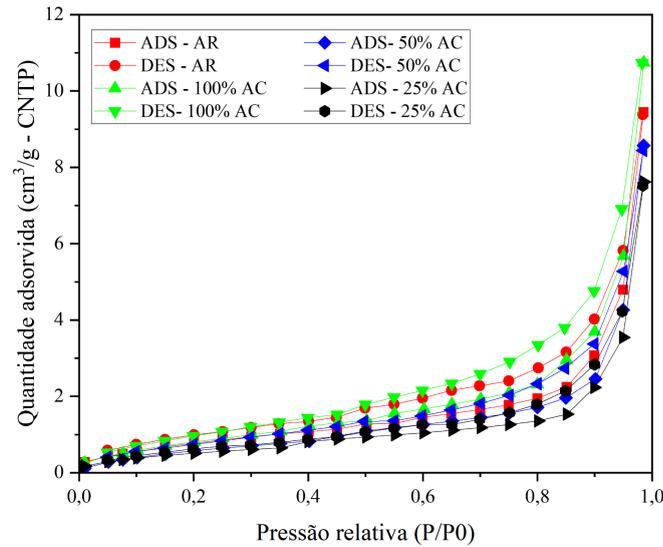
Fonte: Autor (2023).

Assim, é possível verificar que a concentração ótima de sulfato na amostra de água, está entre 0,035 e 0,071 mg/L. Não deixando de considerar a quantidade de sulfato já existente no cimento que é de aproximadamente 4 g em 1 kg de cimento CP II Z 32 (ABCP, 2002).

### 6.5 Área superficial - BET

A Figura 8 apresenta as isotermas de adsorção-dessorção obtidos pela análise. Através dos valores expostos, pode-se classificar os materiais estudados como isotermas reversíveis do tipo II (IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry) com histerese H3, indicando a presença de macroporos com formato de fendas (PAGLARINI *et al.*, 2012; LECLoux, 1981).

Figura 8 - Isotermas de adsorção-dessorção obtidas para as amostras.

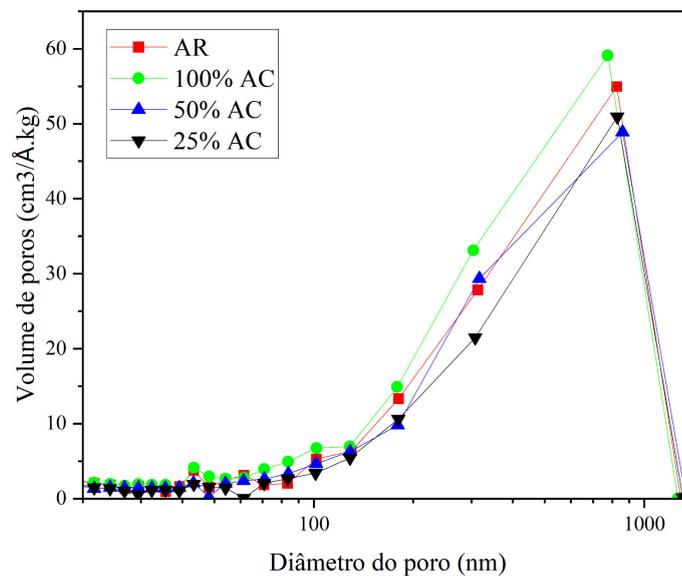


Fonte: Autor (2023).

Isotermas do tipo II são características de amostras não porosas e macroporosas onde os poros se ramificam e se interconectam entre si (THOMMES *et al.*, 2014; SCHWIEGER *et al.*, 2016). O tamanho dos poros influencia no formato da histerese, assim, quanto menor a diferença entre as curvas de adsorção e dessorção menor é a histerese e consequentemente a retenção do adsorvente  $N_2$ , será reduzida no interior do poro a medida que a pressão vai sendo reduzida (JAKUBOV, 2003; THOMMES & CYCHOSZ, 2014).

A Figura 9 apresenta a comparação da relação entre o diâmetro dos poros e o volume de todas as amostras.

Figura 9 - Distribuição do tamanho dos poros para as amostras.



Fonte: Autor (2023).

A maior abertura da isoterma entre 100 nm e 1000 nm, indica uma faixa com grande distribuição de macroporos. Esse arranjo pode ser observado na Figura 9, para todas as porcentagens de AC e a amostra AR. Observa-se um grande volume de macroporos entre 1000 e 100 nm para todos os materiais. Entretanto também é possível verificar a presença de mesoporos, em menor quantidade, no início da curva.

A Tabela 14 apresenta o diâmetro e a área específica para os materiais argamassados.

Tabela 14 - Diâmetro e área específica ( $m^2/g$ ) dos materiais.

Amostra	Diâmetro médio de poros (nm)	Volume dos poros ( $Cm^3/g$ )	Área Específica ( $m^2/g$ )
100% AC	77,56	10,74	3,39
50% AC	85,96	8,57	2,50
25% AC	82,81	7,62	2,02
AR	82,54	9,44	3,19

Fonte: Autor (2023).

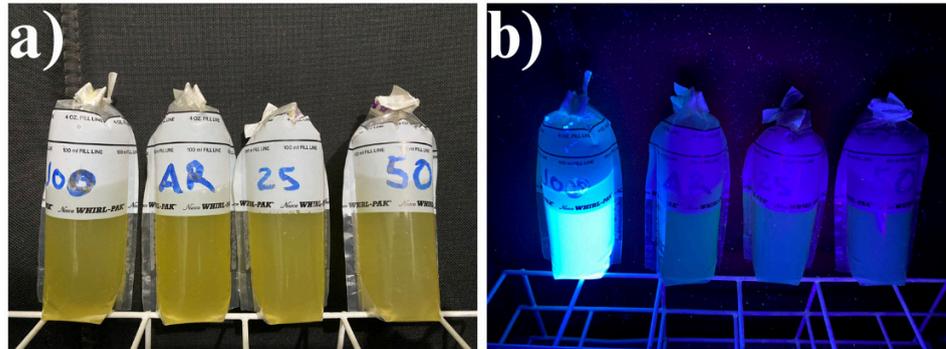
O CP com 100% AC apresentou a maior área específica entre todos os materiais (3,39  $m^2/g$ ), e o menor diâmetro de poros, 77,56 nm. Há portanto uma relação inversa entre a área específica e o diâmetro do poro, provavelmente, devido a relação água/cimento e o processo de hidratação do cimento. Este fato é evidenciado durante a produção do CP com 100% AC no qual apresentou uma consistência mais seca e um tempo de pega mais lento que as demais. Apesar do CP 100% água cinza apresentar propriedades mecânicas boas, a hidratação prejudicada pela matéria orgânica presente em maior quantidade nesta amostra prejudicou o desempenho quando comparada às demais. Certamente devido ao volume dos capilares na pasta de cimento endurecida serem influenciados pela quantidade de água usada no início da hidratação (Quarcioni, 2009). É importante lembrar que a relação água cimento foi mantida constante para todos os CPs para fins comparativos o que pode ter influenciado no volume dos poros e consequentemente nas suas propriedades mecânicas.

Os materiais de 25 e 50% exibiram volumes de poros menores que até mesmo a de AR, o que corrobora para uma melhor resistência mecânica, como expresso nos dados de resistência à tração e compressão.

## 6.6 Coliformes totais e *E. coli*.

A Figura 10(a-b) apresenta o resultado da análise de coliformes totais e *E. coli* realizada com o teste Colilert.

Figura 10 - Análise microbiológica: a) Coliformes totais; b) *E. coli*.



Fonte: Autor (2023).

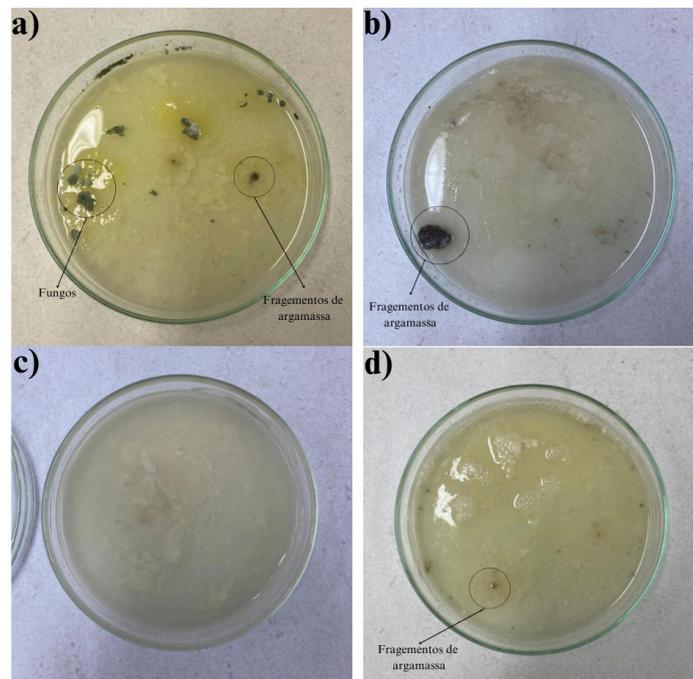
As amostras de argamassa, para o teste de coliformes totais (Figura 10-a), pelo método Colilert, apresentaram resultados positivos para todas as amostras. Desse modo, a hipótese levantada é de que a contaminação por coliformes totais não se deu pela utilização de AC para produzir argamassa, mas sim por contaminações externas ou proveniente de outros materiais utilizados, como a areia, ocorrência já evidenciada por Merville *et. al* em 2021.

As amostras de argamassa foram investigadas quanto à presença de *E. Coli* (Figura 11-b). Observa-se que, apenas a amostra de argamassa com 100% AC apresentou o brilho característico da presença *E. coli*. No entanto, a análise através do NMP não apresentou resultados quantitativos positivos indicando, que com o processo de cura, as bactérias de *E. coli* não resistiram ao ambiente reacional da hidratação. Outra circunstância importante a ser considerada é que, com a ausência de matéria orgânica na argamassa, essas bactérias podem não estar mais presentes após 28 dias de cura. Pode-se considerar também que, a água cinza usada é de baixo teor orgânico (36 mg/L) e que os microrganismos presentes podem consumir rapidamente. Na ausência de alimentação e de umidade os microrganismos presentes morrem, não sendo possível sua identificação em períodos posteriores a sete dias.

## 6.8 Fungos

A Figura 11 apresenta os resultados da análise de fungos dos materiais.

Figura 11 - Análise de fungos: a) 100% AC; b) 50% AC; c) 25% AC; d) AR.



Fonte: Autor (2023).

Observou-se a ocorrência de fungos apenas para o CP com 100% AC (Figura 11-a). Tal fenômeno pode ser prejudicial ao material, pois os fungos são responsáveis pela decomposição da argamassa, uma vez que produzem enzimas que são capazes de quebrar os compostos do material (ALUCCI *et al.*, 1988). Além disso, o mofo pode causar manchas nos revestimentos, prejudicando a estética, e levar a problemas respiratórios aos residentes (SHIRAKAWA, 1995).

É possível observar ainda, no meio de cultura, a presença de fragmentos de argamassa as quais não apresentaram formação de colônias fúngicas nas suas bordas (Figura 12-a,b e d). Os Blends de 25 e 50%, não apresentaram desenvolvimento de colônias fúngicas.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho caracterizou as propriedades mecânicas, químicas, microestruturais e microbiológicas dos blends de água cinza através das análises realizadas, comparando-os com as amostras de 100% AC e AR, para melhor embasamento.

Os testes físico-químicos feitos na água cinza estão em conformidade com as normas vigentes, especialmente a NBR 15900-1/09, que define a qualidade da água para produção de concreto.

A resistência mecânica dos CPs, classificou as argamassas de 25, 50% AC e 100% AR, como P6 para compressão e R6 para tração. O CP com 100% AC, foi classificado como P6 para compressão e R5 para tração na flexão indicando que a resistência da argamassa não é, significativamente, prejudicada pela utilização da água de reuso nas proporções estudadas.

O espectro de FTIR obtido para as argamassas estudadas exibiu grupos funcionais O-H, Al-O e Si-O, que são característicos da hidratação da pasta cimentícia, como evidenciado por Mollah *et. al*, (1998). Alterações observadas na banda  $780\text{ cm}^{-1}$  (Al-O) indicaram uma zona limite para a utilização da AC, de 50% AC.

As amostras analisadas através do método BET revelaram que todos os corpos de prova apresentaram macroporos, variando o diâmetro entre 85 e 77 nm e volume entre 7 e 10  $\text{cm}^3/\text{g}$ . É importante ressaltar que os dados do BET mostram conexão com os dados apresentados pela resistência mecânica. O melhor comportamento observado na resistência dos materiais parece ser um reflexo da área específica, sendo os amassamento de AR, 25% e 50% os que apresentaram valores similares.

A presença de bactérias do tipo coliformes totais foi evidenciado em todas as amostras indicando ser a contaminação, derivada de outras fontes que não a água cinza. A presença de *E. coli* foi verificada apenas para a argamassa 100% AC. A análise bacteriológica realizada pelo método do número mais provável (NMP) não verificou a presença de bactérias, tanto de coliformes totais e de *E.coli*, não sendo possível quantificar.

O teste spread plate não identificou presença de fungos nos blends, apenas na amostra com 100% AC, provavelmente por conter uma carga orgânica maior em comparação aos blends.

Em geral, todos os CPs apresentaram comportamentos satisfatórios e segundo a regulamentação estabelecida para argamassas, dessa forma acredita-se que a utilização de água cinza para o amassamento de revestimento argamassado seja uma alternativa possível para a diminuição do consumo de água potável no ramo da construção civil.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA): **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3rd ed., 1992.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Água no Mundo**. Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 10 dez. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Sistemas construtivos à base de cimento. Uma contribuição efetiva para a sustentabilidade da construção civil**. Jaguaré, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279:1995. **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529:1995. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1995

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1:2009. **Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697:2018. **Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2018.

ALMEIDA, M.C; BUTLER, D; FRIEDLER, E. **At-source domestic wastewater quality**. Urban Water. Israel, 1999.

AL-JABRI, K.S. *et al.* **Effect of using Wastewater on the Properties of High Strength Concrete**. The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, [s. l.], 2011.

AL-MASHAQBEH, Othman A. *et al.* **Grey Water Reuse for Agricultural Purposes in the Jordan Valley: Household Survey Results in Deir Alla**. MDPI, [s. l.], 2012.

ALLUCI, M. P.; FLAUZINO, W. D.; MILANO, S. **Bolor em edifícios: causas e recomendações**. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de construção 1: concreto, madeira, cerâmica, metais, plásticos, asfalto - novos materiais para construção civil**. 5. ed. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. 2005. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2005.

BRYANT, B. **Expansion of cementitious mortars due to delayed ettringite formation**. Thesis for Master of Science in Civil Engineering. Tennessee Technological University, 2011.

BRANDÃO, André Schramm; CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra; DEUS, Ênio Pontes de; *et al.* **Estudo de caso: uso de água recuperada na construção civil**. Revista DAE, 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Publicada no Diário Oficial nº 92 em 16 de maio de 2011.

CARASEK, Helena. **"Argamassas."** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, São Paulo, IBRACON : 892-944, 2010.

CATARINO, Joana Filipa – **Avaliação da influência do cimento na interação cimento-superplastificante**. Dissertação de Mestrado. Lisboa, 2012.

CETESB. Norma Técnica, L5.202, 01/2018. **Coliformes totais, coliformes termotolerantes e Escherichia coli - Determinação pela técnica de tubos múltiplos**, São Paulo, 2018.

CHRISTOVA-BOAL , Diana; EDEN, Robert E.; MCFARLANE, Scott. **An investigation into greywater reuse for urban residential properties**. Desalination. Austrália, 1995.

COELHO, Antonio Carlos Vieira. **Determinação da Área Específica de Sólidos por Adsorção de Gases: Uma Introdução**. São Paulo, 2021.

COSTA, Thales Herinque Silva; MOTA, Francisco Suetonio Bastos. **Análise quantitativa de águas cinza em um condomínio residencial**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, 2021.

DEOREO, W.B.; MAYER, P.W.; DZIEGIELEWSKI, B.; KIEFER, J. **Residential and uses of water**, version 2: executive report. Denver: WRF, 2016.

DOBROVOLSKI, Mateus. **Ataque interno por sulfatos em argamassas de cimento portland : efeito de adição cristalizante e microfibras de polipropileno**. Ufpr.br, 2021.

DOMÉNECH CARBÓ, M.T.; PERK MARTINEZ, V.; GIMENO ADELANTADO, J.V.; BOSCH REIG, F. & MOYA MORENO, M.C.M. **Fourier Transform Infrared Spectroscopy and the analytical study of sculptures and wall decoration**. Journal of Molecular Structure. 1997.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Guideline for water reuse**. EUA.

ERIKSSON, Eva; AUFFARTH, Karina; HENZE, Mogens; LEDIN, Anna. **Characteristics of grey wastewater**. Urban Water, Denmark, 2001.

FAGNANI, Enelton; JOSÉ ROBERTO GUIMARÃES; MOZETO, Antônio A; *et al.* **Sulfetos volatilizáveis por acidificação e metais extraídos simultaneamente na avaliação de sedimentos de água doce**. Química Nova, 2011.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. **Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações**. Ambiente Construído, [S. l.], 2008.

FRAZÃO, YURI ABAS. **Reação de Hidratação do Cimento**. [S. l.], 2020.

GALVÃO, S. P. **Estudo microestrutural de pastas de cimento modificadas por emulsões de base acrílica e acrílica estirenada**. Tese (Doutorado, Ciências de materiais) - Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2010.

GHRAIR, Ayoup M. *et al.* **Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes**. Ain Shams Engineering Journal, Jordan, 2001.

HAFNER, Ana Vreni. **Conservação e Reúso de Água em Edificações – Experiências Nacionais e Internacionais**. [S. l.], 2007.

HUGHES, T.L.; METHVEN, C.M.; JONES, T.G.J.; PELHAN, S.E.; FLETCHER, O & HALL, C. **Determining Cement Composition by Fourier Transform Infrared Spectroscopy**. Advanced Cement Based Material. [S. l.] 1995.

IDEXX, Brasil. **Colilert**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://www.idexx.com.br/pt-br/water/water-products-services/colilert/>. Acesso em: 05 nov. 2023.

JAKUBOV, T.S. **Adsorption by Carbons**, Bottani & Tascón. [S. l.], 2003.

JANOTKA, L.; MADEJOVÁ, J.; STEVULA, L.; FRT'ALOVÁ, D.M. **Behavior of Ca(OH)<sub>2</sub> in the presence of the set styrene-acrylate dispersion**. Cement and Concrete Research. [S. l.], 1996.

KAPELUSZNA, Ewa *et al.* **Incorporation of Al in C-A-S-H gels with various Ca/Si and Al/Si ratio: Microstructural and structural characteristics with DTA/TG, XRD, FTIR and TEM analysis**. Construction and building materials. Kraków, Poland, 2017.

LARA, L. A. M. **Materiais de construção**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Ouro Preto, 2013.

LECLOUX, A.J. **Texture of catalysts**. In: ANDERSON, J.R.; BOUDART, M. (Orgs.). *Catalysis, science and technology*. Berlin: Springer-Verlag, 1981.

LEE, N.K., LEE, H.K., “**Reactivity and reaction products of alkali-activated, fly ash/slag paste**”, *Construction and Building Materials*. [S. l.], 2015.

LIAH, Elias Rodrigues. **Cimento Portland**. [S. l.], 2016.

MARTINS, N. G., & Resende, J. C. de P. **A utilização do método Colilert para análise de coliformes totais e Escherichia coli em amostras de água**. *Sinapse Múltipla*. [S. l.], 2020.

MATEUS, Ricardo Filipe Mesquita da Silva. **Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Proposta para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, [S. l.], 2009.

MATTA, S. L. **Caracterização de argamassa antiga: Estudo de caso: casa amarela - Unidade Municipal de Educação Infantil - UMEI Timbiras**. 2012. Dissertação (Mestrado em construção civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto Microestrutura, Propriedade e Materiais – 3ª edição**. Ed.:IBRACON, 2008.

MENDONÇA, Renata Cristina; SOARES, Khristyan Lenner de Andrade; COELHO, Lineker Max Goulart. **Análise da disponibilidade e demanda de água cinza no pavilhão de aulas da Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba-MG**. *SCIENTIA CUM INDUSTRIA*, [s. l.], 2016.

MERVILLE, A. K. F., Farias, L. G. A. T., & Leitinho, J. L. **Investigação microbiológica em revestimentos de argamassa produzidos com água cinza / Microbiological investigation on mortars produced with grey water**. *Brazilian Journal of Development*. [S. l.], 2021

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. [S. l.], 4 maio 2021. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888\\_07\\_05\\_2021.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html). Acesso em: 02 dez. 2023.

MOLLAH, M. Y. A.; FU, F. & COCKE, D.L. **Na X-ray diffraction (XRD) and Fourier Transform Infrared Spectroscopic (FT-IR) characterization of the speciation of arsenic (V) in Portland cement type-V**. *The science of the total environment*. [S. l.], 1998.

MOLLAH, M. Y. A, YU. M.; SCHENNACH, R & COCKE, D.L. **A fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate**. *Cement and Concrete Research*. [S. l.], 2000.

MOREIRA, A. R. **Apostila de tecnologia do concreto**. Apostila. Disponível em: <http://site.ufvjm.edu.br/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>. [S. l.], 2004.

NETO, Antonio Filho. **Água como material de construção**. [S. l.], 2012.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

NSW. **Greywater reuse in sewerred, single household residential premises**. Department of Water and Energy. Sydney: New South Wales Government, 2008.

PADILHA, L.; ANTUNES, E. G. P. **Análise das características físicas e propriedades mecânicas da argamassa de assentamento com substituição parcial de cimento e agregado por cinzas de carvão vapor**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Santa Catarina, 2018.

PAGLARINI, C. s. *et al.* **Histerese das isotermas de sorção da polpa de manga (Mangifera indica L.) variedade manteiga**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, 2012.

PANZERA, T. H. *et al.* **Propriedades Mecânicas de Materiais Compósitos a Base de Cimento Portland e Resina Epóxi**. Cerâmica. São Paulo, 2010.

PEDROSO, Fábio. **Reações expansivas no concreto das estruturas**. Concreto & Construções. [S. l.], 2021.

PEREIRA, Ederson Cristovão. **Avaliação do Uso e Consumo de Água na Construção Civil**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, [S. l.], 2018.

PIDOU, Mark *et al.* **Greywater recycling: treatment options and applications**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Queensland, 2007.

QUARCIONI, Valdecir Angelo; CHOTOLI, Fabiano Ferreira; ÂNGULO, Sergio Cirelli; *et al.* **Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes**. Ambiente Construído. [S. l.], 2021.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo a Argamassa**. 2ª ed. Porto Alegre, EDIPUCRS, 2012.

ROCCARO, P.; VERLICCHI, P. **Wastewater and reuse**. Current Opinion in Environmental Science & Health. [S. l.], 2018.

ROSE, J. B.; SUN, G.; GERBA, C. P.; SINCLAIR, N. A. **Microbial and persistence of enteric pathogens in graywater from various household source**. Water Research. [S. l.], 1991.

SANT'ANA, Daniel Richard; MEDEIROS, Lídia Batista Pereira. **Aproveitamento de Águas Pluviais e Reúso de Águas Cinzas em Edificações**. [S. l.: s. n.], 2017.

SCHWIEGER, W., Machoke, A. G., Weissenberger, T., Inayat, A., Selvam, T., Klumpp, M., & Inayat, A. **Hierarchy concepts: Classification and preparation strategies for zeolite containing materials with hierarchical porosity**. Chemical Society Reviews. [S. l.], 2016.

SHIMADA, Y.; JOHANSEN, V.; MILLER, F. AND MASON, T. **Chemical Path of Ettringite Formation in HeatCured Mortar and Its Relationship to Expansion: A Literature Review**. Portland Cement Association. [S. l.], 2005.

SHIRAKAWA, M. A.; MONTEIRO, M. B. B.; SELMO, S. M. S.; CINCOTTO, M. A. **Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: UFG, 1995.

SIEGRIST, ROBERT L., WILLIAM C. BOYLE AND MICHAEL WITT. **Characteristics of Rural Household Wastewater**. *Journal of the Environmental Engineering Division* 102: 533-548. [S. l.], 1976.

SILVA, Robson Rodrigo da. **Gestão da Água em Canteiros de Obras de Construção Civil**. Encontro Internacional de Produção Científica, [s. l.], 2013.

SILVA, D.A.; ROMAN, H.R. & GLEIZE, P.J.P. **Evidence of chemical interaction between EVA and hydrating Portland Cement**. *Cement and Concrete Research*. [S. l.], 2002.

SOARES, L. A., **Utilização do Resíduo de ETA no Tratamento de Efluente de Lagoas de Estabilização**, Dissertação de M.Sc. Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós Graduação Stricto Sensu em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, 2013.

STANDARD METHODS, **methods 4500 - O C & 5210 B**. Apha, 1998.

TAFAREL, Nathann Francisco; MACIOSKI, Gustavo; CARVALHO, Karina Querne de; *et al.* **Avaliação das propriedades do concreto devido à incorporação de lodo de estação de tratamento de água**. Matéria. Rio de Janeiro, 2016.

THOMMES, M., & CYCHOSZ, K. A. **Physical adsorption characterization of nanoporous materials: Progress and challenges**. *Adsorption*, 20(2–3). [S. l.], 2014.

THOMMES, M. *et al.* **Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report)**. *Pure and Applied Chemistry*, [S. l.], 2015.

TOLEDO, Mettler. **Espectroscopia FTIR**. [S. l.], 23 ago. 2021.

TORRES, I. F.; ANDRADE, T. **Análise de risco da formação de etringita tardia em blocos de fundação na região metropolitana de Recife – PE – Brasil**. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, [S. l.], 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. Biblioteca Universitária. **Guia de normalização de trabalhos acadêmicos da Universidade Federal do Ceará**. Fortaleza: Biblioteca Universitária, 2013.

VARAS, M.J.T., BUERGO, M.A., FORT, R. **Natural cement as the precursor of Portland cement : Methodology for its identification**, *Cement and Concrete Research*. [S. l.], 2005.

VASCONCELOS, Leda. **Número de novas vagas geradas pela Construção cresceu 150% em 2021**. *Informativo Econômico*. [S. l.], 2022.

VASCONCELOS, Leda. **Construção Civil mostra sua força e cresce acima da economia nacional.** Informativo Econômico. [S. l.], 2022.

ZABROCKI, L.; SANTOS, D. C. dos. **Caracterização da água cinza em edifícios residenciais.** In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande. Anais... Campo Grande; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

ZHU, J.; WAGNER, M.; CORNEL, P.; CHEN, H.; DAI, X. **Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China.** Journal of Water Reuse and Desalination. [S. l.], 2018.