

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

EMERSON RIBEIRO DA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INCORPORAÇÃO DE PÓ DE  
QUARTZO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO  
EM ARGAMASSA**

Cajazeiras-PB  
2023

EMERSON RIBEIRO DA SILVA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INCORPORAÇÃO DE PÓ DE  
QUARTZO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO  
EM ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação da Prof<sup>a</sup>. Me. Raquel Ferreira do Nascimento.

Cajazeiras-PB  
2023

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S586a	<p>Silva, Emerson Ribeiro da. Análise da viabilidade de incorporação de pó de quartzo em substituição parcial ao agregado miúdo em argamassa / Emerson Ribeiro da Silva. - 2023.</p> <p>23f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Profª. Me. Raquel Ferreira do Nascimento.</p> <p>1. Construção civil. 2. Reaproveitamento de resíduos. 3. Argamassa. 4. Sustentabilidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p>
-------	---

IFPB/CZ

CDU: 69:502(043.2)

**EMERSON RIBEIRO DA SILVA**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INCORPORAÇÃO DE PÓ DE  
QUARTZO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO  
EM ARGAMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 13 de dezembro de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO**  
Data: 29/01/2024 15:02:42-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Raquel Ferreira do Nascimento – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **GASTAO COELHO DE AQUINO FILHO**  
Data: 29/01/2024 10:25:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Documento assinado digitalmente  
 **FERNANDO CHAGAS DE FIGUEIREDO SOUSA**  
Data: 01/02/2024 13:05:55-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Fernando Chagas de Figueiredo Sousa – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 2

## **CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

# **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE INCORPORAÇÃO DE PÓ DE QUARTZO EM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL AO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA**

**EMERSON RIBEIRO DA SILVA**  
emerson.ribeiro@academico.ifpb.edu.br

**RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO**  
raquel.nascimento@ifpb.edu.br

### **RESUMO**

A construção civil e a mineração são setores que têm como ponto negativo os impactos provocados ao meio ambiente. A grande geração de resíduos e sua má disposição são questões críticas que exigem atenção e ações sustentáveis de ambas as indústrias. Diante disso, com o intuito de reduzir os danos ambientais, através do reaproveitamento de resíduos, este trabalho tem como objetivo investigar a influência do pó de quartzo nas propriedades da argamassa, através da sua incorporação em substituição parcial do agregado miúdo, nas proporções de 50%, 75% e 100%. Foi realizada a caracterização prévia dos materiais e, em seguida, foram feitos os ensaios de índice de consistência, densidade de massa no estado fresco, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade. Através dos resultados obtidos, as argamassas produzidas com pó de quartzo mostraram-se mais pesadas, além disso, houve um aumento no fator água/cimento, das amostras com o resíduo mineral. Porém esse aspecto não comprometeu as resistências dos corpos de prova que, de maneira geral, foram satisfatórias, com destaque para o traço T75. Os valores de absorção de água foram menores para os Traços T75 e T100. Sendo assim, a utilização de pó de quartzo é apropriada para fabricação de argamassas.

**Palavras-Chave:** pó de quartzo; substituição; argamassa; resíduo.

### **ABSTRACT**

Civil construction and mining are sectors that have a negative impact on the environment. The large generation of waste and its poor disposal are critical issues that require attention and sustainable actions from both industries. Therefore, with the aim of reducing environmental damage, through the reuse of waste, this work aims to investigate the influence of quartz powder on the properties of mortar, through its incorporation in partial replacement of fine aggregate, in proportions of 50 %, 75% and 100%. The materials were previously characterized and then tested for consistency index, fresh mass density, compressive strength and water absorption by capillarity. Through the results obtained, the mortars produced with quartz powder proved to be heavier, in addition, there was an increase in the water/cement factor of the samples with mineral residue. However, this aspect did not compromise the resistance of the test specimens, which, in general, were satisfactory, with emphasis on the T75 mix. Water absorption values were lower for mixes T75 and T100. Therefore, the use of quartz powder is appropriate for the manufacture of mortars.

**Keywords:** quartz powder; replacement; mortar; residue.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um setor de grande importância socioeconômica. A alta demanda de serviços gera, por consequência, uma grande quantidade de empregos, contribuindo, assim, para o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB). Além disso, esse setor desempenha um papel fundamental no aumento da qualidade de vida das pessoas. Por outro lado, a construção civil tem um impacto significativo ao meio ambiente, devido ao consumo em larga escala de recursos naturais e à geração de resíduos (Batista, 2022).

Outra atividade que se assemelha ao setor de construção civil, tanto nos aspectos positivos como nos aspectos negativos, é a mineração. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, no ano de 2019, o setor foi responsável por 16,8% do PIB industrial brasileiro. Entretanto, essa atividade destaca-se também como grande geradora de resíduos, devido aos processos de extração e beneficiamento, que resultam em pilhas de rejeitos minerais, sendo capazes de gerar impactos ao meio ambiente, à sociedade e à economia. Esses resíduos, frequentemente em grande volume, quando não são adequadamente tratados e dispostos, causam poluição do ar, poluição visual e contaminação do solo e da água. Nesse contexto, uma gestão adequada dos resíduos minerais é indispensável, visando direcioná-los para setores onde possam ser aproveitados como uma alternativa eficaz para reduzir os problemas causados por sua disposição inadequada (Ramalho Neta *et al.*, 2019).

Diante disso, a preocupação com o meio ambiente tem se intensificado ao longo dos últimos anos e a busca por atividades mais sustentáveis expandiu-se. O termo “desenvolvimento sustentável” se faz cada dia mais presente na sociedade, devido aos problemas causados pelos setores construtivo e de mineração. Esse desenvolvimento, dentre outros objetivos, visa o uso ecologicamente viável de recursos naturais e, também, a reutilização de resíduos, a fim de minimizar os impactos socioambientais e estimular a sustentabilidade.

O aproveitamento dos resíduos por meio do desenvolvimento de pesquisas voltadas para identificar suas potencialidades e viabilidade é reconhecido como uma atividade complementar de grande importância. Essa abordagem pode contribuir para a diversificação dos produtos, a redução de custos e danos ambientais, além de fornecer uma nova fonte de matéria-prima para diversos setores industriais (Carlos, 2018).

Dentre esses resíduos, encontra-se o rejeito de mineração pó de quartzo, que, de acordo com Batista *et al.* (2018), é resultante do beneficiamento de rochas com alto teor de quartzo, sendo este um dos minerais silicatos mais presentes na crosta terrestre.

Atualmente, uma forma de destinar a utilização dos resíduos minerais é por meio do reaproveitamento na produção de materiais de construção. Essa reutilização reduz o volume de resíduos descartados na natureza, diminui os custos de matéria-prima e pode proporcionar melhorias nas características dos materiais de construção, como por exemplo, a argamassa (Medeiros, 2016).

Desse modo, o presente estudo tem o objetivo de analisar o desempenho da argamassa, tanto em seu estado fresco como endurecido, ao incorporar o resíduo pó de quartzo em substituição parcial à areia natural, verificando a influência da substituição, com teores de 0%, 50%, 75% e 100%, no comportamento da argamassa quanto à consistência, densidade de massa, resistência à compressão e absorção de água por capilaridade, para assim, obter-se um teor ótimo de substituição que atenda as propriedades estudadas. O trabalho mostra-se relevante pois indica uma alternativa de destinação para esse resíduo mineral, através da incorporação à argamassa, reduzindo impactos ambientais negativos, além de beneficiar a indústria da construção civil, apresentando uma alternativa de material e diminuindo os custos de produção.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico são abordadas várias literaturas para fundamentar os aspectos relacionados ao tema. Os estudos aqui apresentados são de inteira relevância para que respaldem as ideias para desenvolvimento deste trabalho.

### 2.1 Argamassa

A argamassa destaca-se como um dos materiais mais utilizados na construção civil devido a sua versatilidade. Sendo principalmente usada para assentamento de alvenaria e em diversos trabalhos de

revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única em paredes e tetos. É um material de construção que apresenta propriedades adesivas e de endurecimento, feito a partir de uma mistura homogênea de um ou mais ligantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo também conter aditivos ou adições minerais (Carasek, 2010).

Segundo a NBR 13281-1 (ABNT, 2023, p. 2), a argamassa é definida como: “mistura homogênea de um ou mais ligantes inorgânicos, agregados miúdos e água, que pode conter fibras, adições e/ou aditivos, com características específicas de desempenho adequadas a utilização”.

De acordo com Falcão (2010), existem registros da utilização de argamassas há cerca de 8000 a.C., na região onde atualmente localiza-se a Turquia. As argamassas mais antigas eram à base de areia e cal ou gesso como ligante. Contudo, com o passar dos anos, os processos de fabricação foram evoluindo, em razão do desenvolvimento de novos materiais e tecnologias. Falcão (2010) ressalta ainda os aditivos, como um exemplo de materiais criados e adicionados às argamassas com o objetivo de melhorar suas propriedades. Além disso, com a descoberta do cimento Portland, o mesmo apresentou-se como uma alternativa à cal, como ligante.

### 2.1.1 Classificação

Existem diversos critérios para classificação das argamassas, e a escolha de um determinado tipo depende dos requisitos exigidos pela obra e da finalidade de aplicação (Carasek, 2010). Desse modo, Carasek (2010) classifica alguns desses critérios, os quais podem ser observados no Quadro 1.

**Quadro 1** – Classificação das argamassas.

<b>Critério de classificação</b>	<b>Tipo</b>
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa aérea Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	Argamassa de cal Argamassa de cimento Argamassa de cimento e cal Argamassa de gesso Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	Argamassa simples Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	Argamassa seca Argamassa plástica Argamassa fluida
Quanto à densidade de massa da argamassa	Argamassa leve Argamassa normal Argamassa pesada
Quanto à plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra Argamassa média ou cheia Argamassa rica ou gorda
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	Argamassa industrializada Argamassa preparada em obra Argamassa dosada em central Mistura semipronta para argamassa

Fonte: Carasek (2010).

Ademais, de acordo com Carasek (2010), as argamassas também podem ser categorizadas com base na sua função na construção, conforme mostrado no Quadro 2.

**Quadro 2** – Classificação das argamassas segundo suas funções na construção.

<b>Função</b>	<b>Tipo</b>
Para construção de alvenaria	Argamassa de assentamento Argamassa de fixação ou encunhamento – (alvenaria de vedação)

<b>Função</b>	<b>Tipo</b>
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco Argamassa de emboço Argamassa de reboco Argamassa de camada única Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de piso	Argamassa de contrapiso Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas -colante Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2010).

### 2.1.2 Propriedades

Segundo Baia e Sabbatini (2008 *apud* Costa, 2016), para que as argamassas desempenhem bem as suas funções, elas devem apresentar propriedades específicas tanto no estado fresco quanto no endurecido. Carasek (2010) destaca que buscando atender essas funções, algumas propriedades são essenciais para as argamassas. O Quadro 3 apresenta essas propriedades.

**Quadro 3** – Propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido.

<b>Estado fresco</b>	<b>Estado endurecido</b>
Trabalhabilidade	Aderência
Densidade de massa e teor de ar incorporado	Resistência mecânica
Retenção de água	Capacidade de absorver deformações
Retração na secagem	Durabilidade

Fonte: Carasek (2010).

Laverde *et al.* (2017) comentam que as propriedades no estado fresco afetam, pelas condições de aplicação, o desempenho do revestimento, como por exemplo a trabalhabilidade. Sousa e Bauer (2002), citam a trabalhabilidade como uma das propriedades mais importantes das argamassas.

Carasek (2010) define a trabalhabilidade como a propriedade no estado fresco que influencia a facilidade com que as argamassas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas e acabadas em condição uniforme. A autora ressalta ainda que, essa é uma propriedade complexa, decorrente da combinação de outras propriedades, tais como: consistência, plasticidade, coesão, retenção de água, densidade de massa e adesão inicial.

No estado endurecido das argamassas, diversos autores destacam parâmetros principais para controle dessa fase, tais como: resistência mecânica, permeabilidade (absorção de água por capilaridade) e aderência.

Saraiva (1998) cita que a resistência mecânica é a propriedade que diz respeito a uma condição interna consolidada capaz de suportar vários tipos de tensões de compressão, tração e cisalhamento. Desse modo, é esperado que o revestimento de argamassa demonstre a capacidade de suportar deformações pequenas sem ruptura ou fissuras.

Azerêdo (2012) explica que a permeabilidade é a propriedade que permite a passagem de água através do volume de um material, podendo ocorrer por capilaridade, por poros interligados ou descontínuos, o que contribui ou não para o deslocamento dos fluidos, influenciando, assim, o nível de permeabilidade. A mesma ainda é afetada pela natureza do agregado, tamanho das partículas e teor de finos. O ensaio de capilaridade está associado à permeabilidade enquanto o ensaio de absorção de água relaciona-se ao índice de vazios.

Romão e Fernandes (2017) afirmam que uma das propriedades fundamentais é a de aderência, pois a mesma possibilita ao revestimento de argamassa absorver tanto as tensões normais quanto as tangenciais que surgem na superfície de interface do substrato, garantindo assim a fixação à superfície. Para Maciel, Barros e Sabbatini (1998), esta aderência é resultado da junção da resistência de aderência ao cisalhamento, da resistência de aderência à tração e da extensão de aderência da argamassa.

## 2.2 Argamassas formuladas com resíduos

O aproveitamento dos resíduos, tanto da construção civil, como do beneficiamento mineral, vem se mostrando cada vez mais importante como uma alternativa de substituição dos agregados naturais. Muitas pesquisas são desenvolvidas atualmente buscando identificar a viabilidade de uso destes resíduos, com o objetivo de diversificar a oferta de matérias-primas, diminuir os custos de produção e reduzir os danos causados ao meio ambiente, promovendo assim um sistema de produção mais sustentável (Carlos, 2018).

Piuco e Godinho (2017) analisaram a influência da utilização de pó de feldspato em substituição parcial a areia. A pesquisa englobou misturas com teores de substituição de 0%, 10%, 20% e 30%. Os resultados mostraram que a argamassa com pó de feldspato melhorou as propriedades do material em relação ao traço de referência, com destaque para o traço com incorporação de 20% do resíduo que apresentou os melhores desempenhos na maioria dos ensaios realizados (compressão diametral, resistência à compressão axial, absorção de água por capilaridade e análise microestrutural: microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura).

Santos, Lira e Ribeiro (2012) estudaram a substituição total do agregado natural por resíduo obtido da britagem de granito. Foram utilizados dois traços neste estudo: 1:1:6 e 1:2:9 (Cimento: Cal: Pó de brita). Verificou-se que a substituição trouxe aspectos positivos e um bom desempenho quanto à resistência à flexão e compressão, com resultados homogêneos, sendo que o traço 1:1:6 obteve maiores resistência. Os autores ainda comentam que o resíduo não prejudicou a aparência da argamassa.

Lima *et al.* (2016) avaliaram o comportamento das argamassas de revestimento com a substituição do agregado miúdo convencional por vidro moído e porcelanato. No trabalho, os resíduos cerâmicos foram incorporados com percentuais de 0%, 25% e 50% de substituição. Os autores salientaram uma melhor trabalhabilidade e fluidez nos traços com resíduos. Nos ensaios de resistência mecânica, é possível observar que todos os traços realizados apresentaram valores maiores em comparação aos corpos-de-prova (CP) de referência. Atentando-se para os CPs com 50% de resíduos cerâmicos que, no ensaio de tração na flexão, apresentaram uma diferença de quase 10 MPa em relação aos resultados de referência. Com isso, é indicado que quanto maior a proporção destes resíduos, melhor a argamassa reagirá a este tipo de ensaio.

## 2.3 Pó de quartzo

O quartzo, que é composto principalmente por dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), é um dos materiais mais abundantes na superfície terrestre. O Brasil é detentor de importantes reservas e ocupa uma posição de destaque no cenário mundial no que diz respeito a produção de quartzo, sendo um dos líderes na produção deste mineral (Abdallah, 2010).

O pó de quartzo é obtido a partir do beneficiamento de quartzo, apresenta coloração branca e, de modo geral, tem suas propriedades influenciadas pelas propriedades do quartzo, tais como: a composição química que é fundamentalmente por  $\text{SiO}_2$ , a dureza e a massa específica que são relativamente altas. O processo de beneficiamento deste mineral consiste em etapas de britagem e moagem. A moagem é uma etapa caracterizada pelo processo de quebra de lascas de quartzo, resultando em um pó fino. Uma parcela significativa de pó de quartzo utilizada globalmente é derivada de areias silicosas. Este processo de obtenção envolve métodos físicos e químicos de beneficiamento, visando a purificação de minérios, mesmo apresentando baixos teores de impureza (Mori; Santos; Sobral, 2007).

Esse resíduo mineral tem sido objeto de estudo de alguns autores, quanto à sua utilização para produção de materiais cimentícios, em substituição ao agregado natural. Silva Júnior *et al.* (2019) avaliaram o desempenho do concreto de pavimento rígido com substituição parcial, em teores de 10%, 20% e 30%, do agregado miúdo por resíduos minerais (pó de quartzo e scheelita), por meio de ensaios mecânicos. Os resultados obtidos mostraram destaque, quanto ao ensaio de resistência à compressão simples, do concreto produzido com 30% de substituição de pó de quartzo, apresentando resistência superior ao concreto convencional aos 7 dias de cura. Os autores destacam a diferença mínima dos valores de resistência entre os concretos com esse resíduo e o convencional, possibilitando, assim, a sua utilização.

Pacheco *et al.* (2016) estudaram os efeitos da adição de pó fino de quartzo nas propriedades do concreto convencional, em porcentagens de 10%, 20% e 30%. Foi possível observar que, apesar da

diminuição da trabalhabilidade do concreto com a adição do resíduo, o que pode ser melhorado com o uso de aditivos plastificantes ou aumento da relação água/cimento, a dosagem com adição de 10% de resíduo mineral foi a que apresentou melhor desempenho em relação ao ensaio de compressão axial, tendo resultados bastante semelhantes nas idades de 7 e 28 dias.

### **3 MÉTODO DA PESQUISA**

Nesta seção estão apresentados todos os materiais e métodos utilizados para atingir o objetivo proposto do referido trabalho.

Esta pesquisa, quanto à abordagem, é considerada quantitativa, pois busca avaliar benefícios da incorporação de pó de quartzo à argamassa, por meio de procedimentos experimentais, de acordo com métodos e padrões de normas técnicas. Quanto à natureza, a pesquisa é considerada aplicada, devido ao propósito de gerar conhecimentos para aplicações práticas com o objetivo de resolver problemas específicos. Em relação aos objetivos, a pesquisa é classificada como explicativa, uma vez que visa identificar as causas que determinam os fenômenos investigados e explicar o porquê os mesmos ocorrem (Coelho, 2019).

#### **3.1 Materiais**

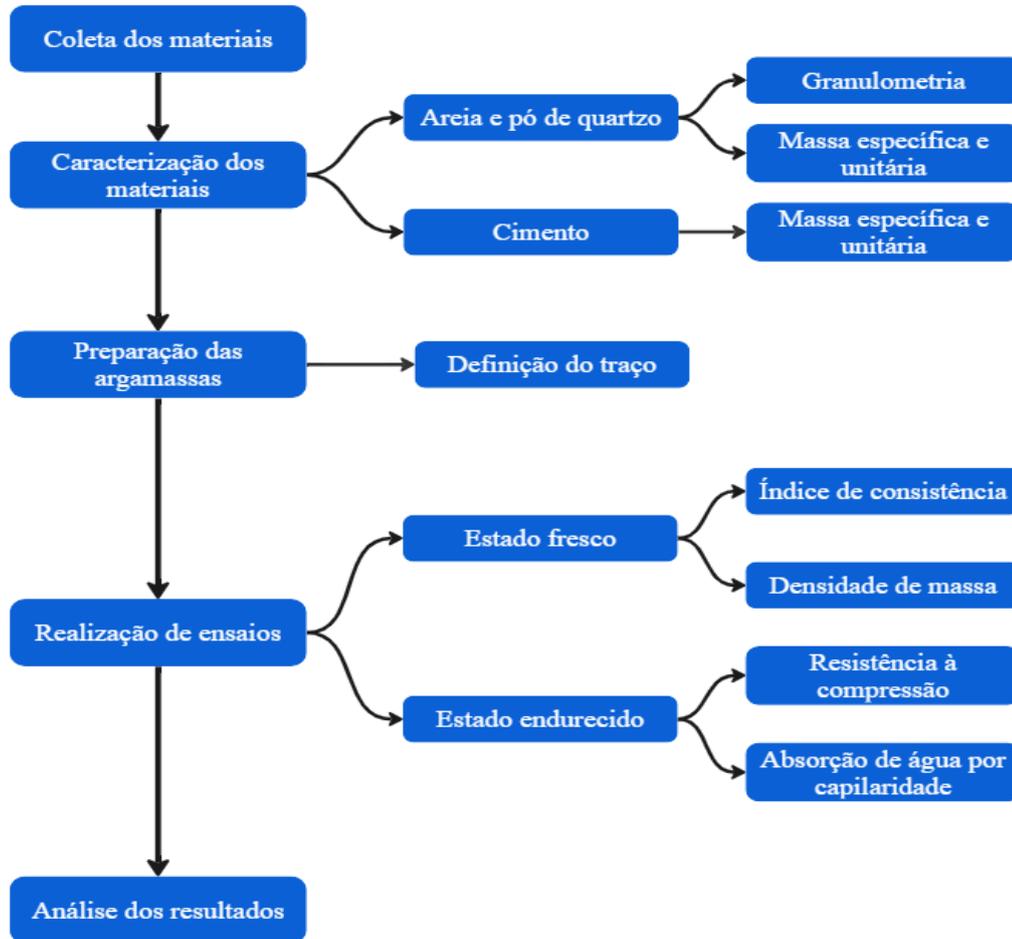
No desenvolvimento do presente estudo, foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland (CP II 32 F), da empresa Mizu Cimentos;
- Areia, disponível em laboratório;
- Pó de quartzo, obtido através de doação da mineradora Armil, localizada no município de Parelhas-RN.

#### **3.2 Métodos**

Foram adquiridos os materiais e, em seguida, foi feita a caracterização física destes materiais, logo após, foram determinados os traços das argamassas e os percentuais de substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo. A Figura 1 apresenta as etapas que foram definidas para desenvolvimento do trabalho.

**Figura 1** – Fluxograma com as etapas da pesquisa.



Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.3 Caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização são responsáveis por fornecer informações importantes sobre as propriedades físicas dos materiais. Ressalta-se que o resíduo pó de quartzo foi previamente passado na peneira de 1,2 mm, sendo este material passante o utilizado para a caracterização.

#### 3.3.1 Ensaio de Granulometria

Para a realização da análise granulométrica da areia e do pó de quartzo, foi seguida a NBR 17054 (ABNT, 2022), sendo feito o peneiramento com duas amostras de cada material e utilizando a média para obter informações mais precisas sobre a distribuição de tamanho das partículas. O conjunto de peneiras utilizadas foram as com abertura de malha de 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm e 0,15 mm, com tampa e fundo, sendo feita a agitação mecânica do conjunto. Foi calculado o percentual dos materiais retidos em cada peneira, com isso, observou-se o diâmetro máximo, que é dado pela peneira na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% da massa. O módulo de finura foi determinado através da soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras, dividido por 100.

#### 3.3.2 Massa específica da areia, do resíduo e do cimento

A massa específica é uma propriedade fundamental, pois fornece informações de grande valor sobre os agregados, como o volume de vazios e o peso dos agregados, tais aspectos são de grande importância na dosagem dos materiais. Este ensaio seguiu as especificações das normas NBR 16916

(ABNT, 2021), para a areia e pó de quartzo e NBR 16605 (ABNT, 2017), para o cimento.

### 3.3.3 Massa unitária da areia, do resíduo e do cimento

A massa unitária, ao contrário da massa específica, considera o volume total, incluindo vazios, por isso, é usada normalmente como medida indireta do índice de vazios. A NBR 16972 (ABNT, 2021) apresenta os procedimentos para sua determinação, que consiste em lançar o material em um recipiente cilíndrico normatizado (de volume conhecido), de uma altura de 5 cm, para evitar o adensamento. Após isso, nivela-se a camada superior e registra-se a massa. A massa unitária é dada pela razão entre a massa do material e o volume do recipiente.

### 3.4 Preparação das argamassas

O traço definido para a formulação das argamassas foi o de 1:3 (em volume), sendo este amplamente utilizado em obras. Foi necessário transformar este traço, de volume em massa, para facilitar o trabalho em laboratório.

Foram produzidas argamassas variando os percentuais de substituição em 50%, 75% e 100% do agregado miúdo por pó de quartzo, além da argamassa de referência, com 0% de substituição, ou seja, sem a utilização de resíduo, para ter como base de comparação da eficiência das argamassas com incorporação do resíduo mineral. Para simplificar a leitura dos dados, foram adotadas nomenclaturas para as misturas, sendo T0, T50, T75 e T100 designadas para representar, respectivamente, as argamassas com 0%, 50%, 75% e 100% de substituição. Os traços com a especificação das proporções dos materiais utilizados estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1** – Traços com as proporções de materiais.

Nomenclatura	Traço (em massa) cimento : areia : pó de quartzo	Teor de substituição (%)
T0	1 : 3,87 : 0	0
T50	1 : 1,94 : 1,65	50
T75	1 : 0,97 : 2,48	75
T100	1 : 0 : 3,31	100

Fonte: Autoria própria (2023).

### 3.5 Determinação do Índice de Consistência

A realização deste ensaio tem o objetivo de determinar a quantidade de água necessária para obter uma consistência padrão na produção das argamassas. Foi fixado um espalhamento padrão em  $(260 \pm 5)$  mm, conforme as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2005). Com isso, foi possível obter a relação água/cimento (a/c) de cada traço.

### 3.6 Densidade de massa no estado fresco

A densidade de massa no estado fresco indica a relação entre a massa e o volume da argamassa em diferentes formulações. Este ensaio foi realizado de acordo com o estabelecido pela NBR 13278 (ABNT, 2005), com o objetivo de avaliar as propriedades da argamassa no momento imediatamente após a mistura.

### 3.7 Determinação da resistência à compressão

A resistência à compressão é a capacidade que a argamassa tem de resistir a esforços físicos. Na prática, o ensaio é executado através da aplicação de uma carga gradual e controlada sobre a amostra

até o momento de ruptura. Este ensaio foi feito seguindo as determinações da NBR 13279 (ABNT, 2005), sendo utilizados as duas metades de cada um dos três corpos-de-prova prismáticos com dimensões de (4 x 4 x 16) cm, para cada formulação de traço.

### 3.8 Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

Este ensaio foi realizado em conformidade com as diretrizes da NBR 15259 (ABNT, 2005), foram utilizados três corpos-de-prova prismáticos com dimensões de (4 x 4 x 16) cm, para cada um dos traços definidos. O ensaio foi feito aos 28 dias de idade dos corpos de prova, sendo determinada a massa inicial de cada CP e, logo após, os mesmos foram posicionados com a face quadrada sobre os suportes no recipiente de realização do ensaio, mantendo o nível de água constante a (5 ± 1) mm acima da face em contato com a água. A partir disso, determinou-se a massa de cada corpo-de-prova aos 10 minutos e aos 90 minutos.

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

### 4.1 Caracterização por granulometria dos materiais

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados dos ensaios de granulometria da areia e do pó de quartzo, respectivamente.

**Tabela 2** – Caracterização por granulometria do agregado miúdo natural.

Peneira (mm)	Massas (g)		Retida m <sub>1</sub> (%)	Retida m <sub>2</sub> (%)	Retida média (%)	Acumulada (%)
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>				
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	0,08	0	0	0	0	0
1,2	15,54	17,05	3,1	3,4	3,3	3,3
0,6	277,14	292,03	55,4	58,4	56,9	60,2
0,3	156,48	150,63	31,3	30,1	30,7	90,9
0,15	44,66	35,31	8,9	7,1	8,0	98,9
Fundo	5,95	5,16	1,2	1,0	1,1	100,0
<b>Total</b>	<b>499,85</b>	<b>500,18</b>	<b>99,9</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	
<b>DIÂMETRO MÁXIMO</b>	1,2		<b>MÓDULO DE FINURA</b>			2,53

Fonte: Autoria própria (2023).

**Tabela 3** – Caracterização por granulometria do pó de quartzo.

Peneira (mm)	Massas (g)		Retida m <sub>1</sub> (%)	Retida m <sub>2</sub> (%)	Retida média (%)	Acumulada (%)
	m <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>				
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	0	0	0	0	0	0
1,2	2,12	3,25	0,4	0,6	0,5	0,5
0,6	167,67	166,14	33,6	33,3	33,4	33,9
0,3	143,40	141,08	28,7	28,3	28,5	62,4
0,15	99,78	106,04	20,0	21,2	20,6	83,0
Fundo	86,27	82,70	17,3	16,6	17,0	100,0
<b>Total</b>	<b>499,24</b>	<b>499,21</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	
<b>DIÂMETRO MÁXIMO</b>	1,2		<b>MÓDULO DE FINURA</b>			1,80

Fonte: Autoria própria (2023).

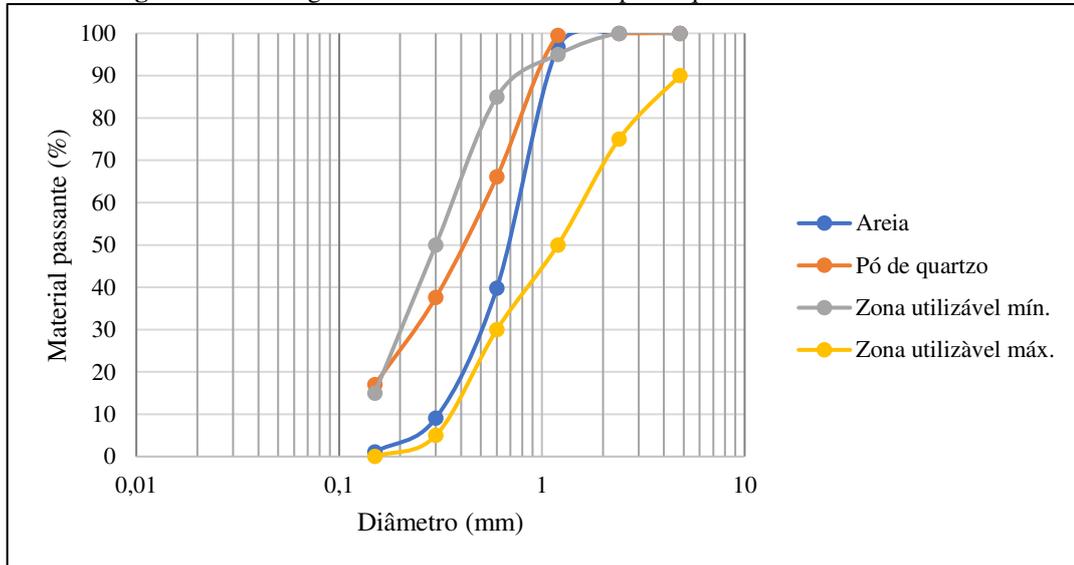
As caracterizações granulométricas mostraram uma maior concentração do agregado miúdo e do pó de quartzo na faixa entre 0,6 mm e 0,3 mm, sendo assim considerados de granulometria média.

É possível observar uma quantidade mais significativa do resíduo de quartzo na peneira 0,15 mm e no fundo, em relação ao agregado miúdo, o qual influencia no módulo de finura, que se apresenta

menor que a areia, indicando, assim, uma melhoria na trabalhabilidade, porém um possível consumo maior de água nas amostras.

Na Figura 2 estão apresentadas as curvas granulométricas desses materiais.

**Figura 2** – Curva granulométrica da areia e do pó de quartzo e limite de zona utilizável.



Fonte: Autoria própria (2023).

A NBR 7211 (ABNT, 2022) estabelece os limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo, estando a areia e o pó de quartzo dentro dos limites de zona utilizável determinados, exceto para a peneira 1,2 mm, que o agregado natural e o resíduo mineral apresentaram, respectivamente, 3,3% e 0,5% de massa retida acumulada, fora do limite que é de 5 a 50%, e para a peneira 0,15 mm, que o resíduo mostrou 83% de material retido acumulado, enquanto que o limite inferior normatizado é de 85%.

#### 4.2 Massa específica e massa unitária dos materiais

Os dados referentes à massa específica e à massa unitária dos materiais utilizados neste estudo podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Valores da massa específica e unitária dos materiais.

Material	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )
Areia	2,65	1,56
Pó de quartzo	2,66	1,33
Cimento	3,08	0,93

Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados obtidos mostram que o pó de quartzo possui sua massa específica praticamente igual à da areia, sendo positivo em aspectos de homogeneidade e compatibilidade, o que facilita obter coesão na mistura. A massa unitária do resíduo é 14,74% menor em relação a massa unitária do agregado miúdo natural. Isso indica uma argamassa com tendência de mais espaços vazios entre as partículas. Os valores de massa específica e unitária do cimento ficaram dentro da faixa fornecida pela fabricante Mizu Cimentos, que a estabelece entre 2,8 e 3,2 g/cm<sup>3</sup> para massa específica e de 0,88 a 0,93 g/cm<sup>3</sup> para massa unitária.

#### 4.3 Índice de consistência das argamassas

Através deste ensaio foi possível obter a relação água/cimento, podendo assim determinar os traços para desenvolvimento da pesquisa. Todos os traços ficaram dentro do espalhamento

predeterminado de  $(260 \pm 5)$  mm. É possível observar, através da Tabela 5, que houve um aumento constante de 0,05 do fator a/c à medida que o percentual de substituição do resíduo aumentava. Esse fato se deve a um maior teor de finos na granulometria do rejeito e uma maior superfície específica, que faz com que seja necessário mais água para manter a mesma consistência. No entanto, para o traço T100 foi preciso a mesma quantidade de água do traço T75 para atingir a consistência padrão, mostrando um possível limite alcançado, um ponto de saturação.

**Tabela 5** – Índice de consistência das argamassas.

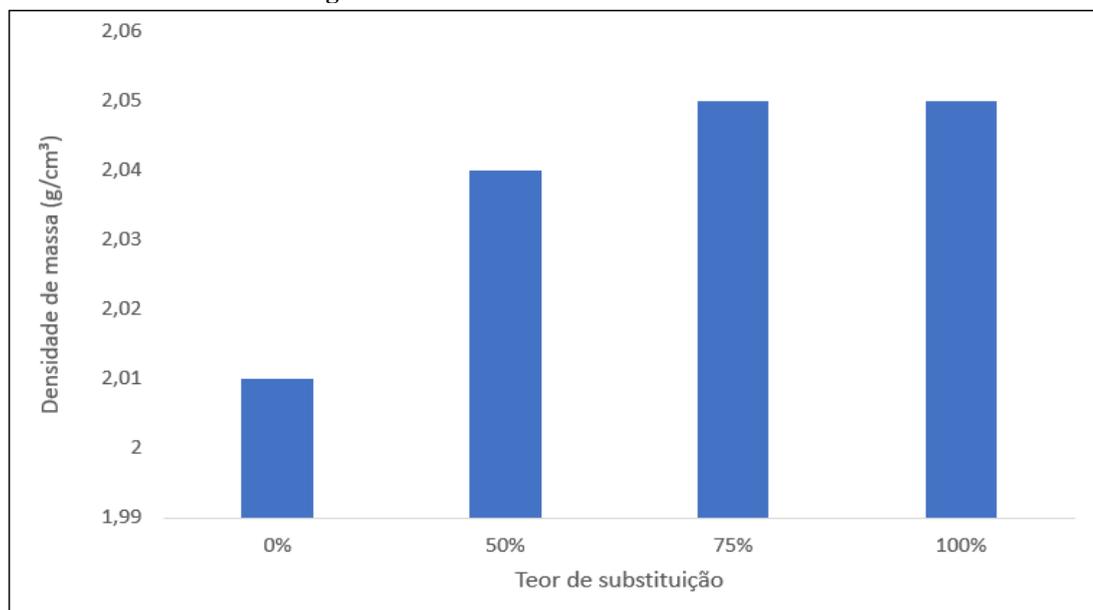
Traço	Relação (a/c)	Espalhamento (mm)
T0	0,75	261
T50	0,80	265
T75	0,85	261
T100	0,85	257

Fonte: Autoria própria (2023).

#### 4.4 Densidade de massa

Os resultados deste ensaio mostraram uma densidade de massa no estado fresco com diferenças pequenas entre as argamassas formuladas. A argamassa de referência apresentou uma densidade de  $2,01 \text{ g/cm}^3$ . Para o traço T50, a densidade de massa aumentou para  $2,04 \text{ g/cm}^3$ , indicando que a incorporação do resíduo de mineração contribui para uma maior compactação da argamassa, devido as partículas serem mais finas e preencherem os vazios não preenchidos pela areia. Os valores de densidade, para todos os traços, podem ser visualizados na Figura 3.

**Figura 3** – Densidade de massa no estado fresco.



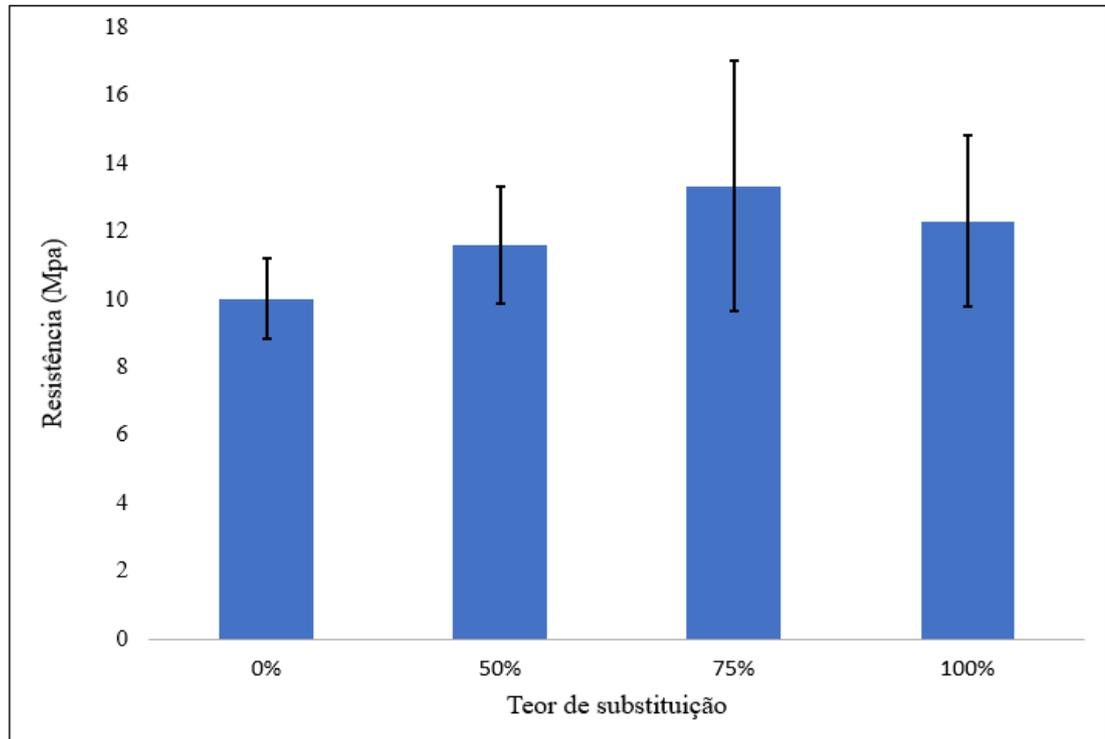
Fonte: Autoria própria (2023).

Com isso, as argamassas produzidas são classificadas como normais quanto à densidade de massa, pois estão dentro da faixa abrangida entre  $2,30$  e  $1,40 \text{ g/cm}^3$  (Carasek, 2010).

#### 4.5 Resistência à compressão

As rupturas dos corpos de prova foram feitas na idade de 28 dias. Posteriormente, foi calculada a média das resistências obtidas, para cada traço, as quais podem ser observadas na Figura 4, assim como seu respectivo desvio padrão.

**Figura 4** – Resultados da resistência à compressão.



Fonte: Autoria própria (2023).

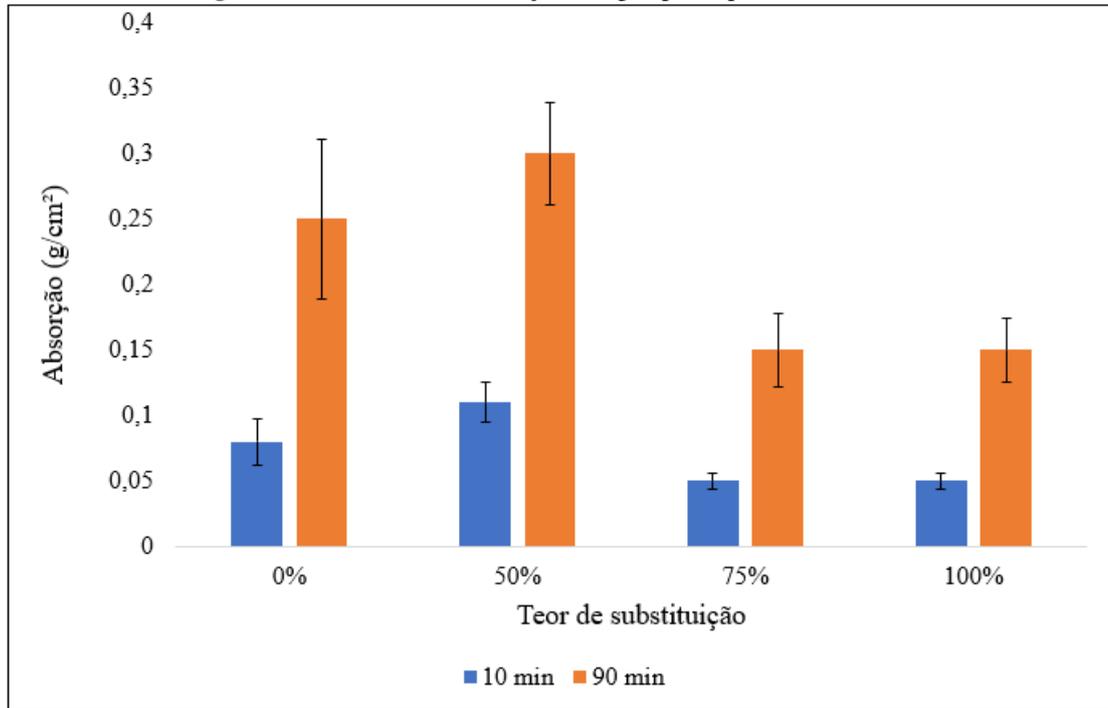
Conforme a Figura 4, é possível observar que todas as argamassas com pó de quartzo tiveram resultados superiores ao de referência. Isso indica que o resíduo mineral contribui para o aumento da resistência mecânica à compressão, podendo ser explicada pelo maior percentual de finos, que contribui para uma possível aumento de compactação. Nota-se também um aumento gradual de resistência até o traço T75, porém com uma perda de resistência para o traço T100, indicando que a substituição total pode não ser a opção mais adequada. A argamassa com teor de substituição de 75% apresentou o melhor resultado, atingindo uma resistência média de 13,33 MPa, sendo 33,17% maior que a argamassa de referência, demonstrando, assim, uma proporção mais ideal entre os materiais.

Batista *et al.* (2018), em seu trabalho, no qual foi analisado o comportamento do concreto ao utilizar resíduo de quartzo em substituição parcial ao agregado miúdo natural, também verificaram um aumento na resistência à compressão, aos 28 dias, dos corpos de prova contendo o rejeito mineral. Segundo os autores, isso se deve a uma presença maior de finos em relação a areia, que melhora a coesão com a pasta de cimento.

#### 4.6 Absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade

Os resultados do ensaio de absorção de água por capilares, aos 28 dias, para cada argamassa formulada, estão apresentados na Figura 5.

**Figura 5** – Resultados de absorção de água por capilaridade.



Fonte: Autoria própria (2023).

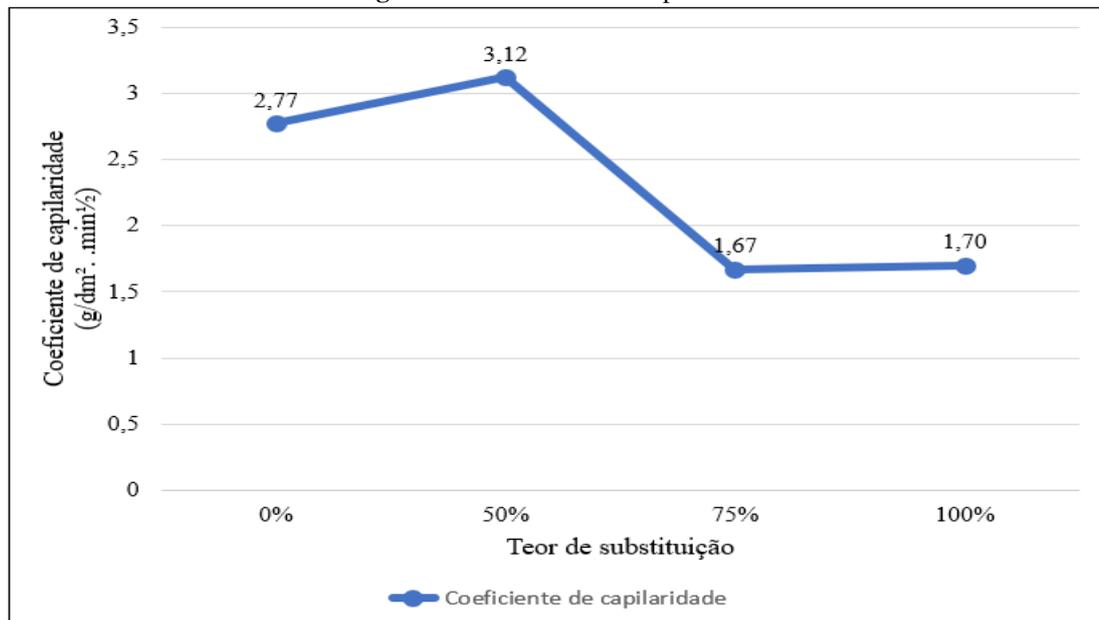
Analisando a Figura 5, nota-se que os corpos de prova com 75% e 100% de incorporação de pó de quartzo, tanto aos 10 min quanto aos 90 min, obtiveram os resultados mais satisfatórios. Ambos apresentaram um valor de absorção de água em média de 0,05 g/cm<sup>2</sup> aos 10 min e 0,15 g/cm<sup>2</sup> aos 90 min, sendo, respectivamente, 37,5% e 40% menores que o traço de referência. Apesar de o resíduo ter um menor módulo de finura e, conseqüentemente, uma área superficial maior, exigindo uma maior quantidade de água no ensaio de consistência, quando usado na mistura da argamassa em substituição da areia, o mesmo fato (de ser mais fino) pode ter tornado a argamassa mais compacta, pois as partículas mais finas acabam por preencher os vazios interconectados, reduzindo a permeabilidade do material. Já o traço com teor de 50% mostrou os maiores resultados, com uma absorção 37,5% superior aos 10 min e 20% aos 90 min, comparando com os valores de referência.

Essa variação nos resultados pode ser devido as características do resíduo, como composição química, porosidade e uma granulometria mais baixa em comparação com a areia (Rato, 2006). Além disso, a interação entre ambos também pode ser um fator que influencie. É necessário outros ensaios e análises para compreender melhor essas relações.

- *Coefficiente de capilaridade*

De acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005), o coeficiente de capilaridade é igual ao coeficiente angular da reta que passa pelos pontos representativos das determinações realizadas aos 10 min e aos 90 min. O mesmo é o valor médio das diferenças de massa aos 10 min e aos 90 min. Esses valores podem ser visualizados na Figura 6.

**Figura 6 – Coeficiente de capilaridade.**



Fonte: Autoria própria (2023).

A NBR 13281 (ABNT, 2005) determina a classificação dos coeficientes de capilaridade de acordo com os valores calculados, dividindo-os em 7 classes. Os resultados mostrados na Figura 6 apresentam-se em distintas classes de classificação, sendo o traço de referência na classe C3, o traço com teor de substituição de 50% na classe C4 e os traços com 75% e 100% de substituição na classe C2, podendo-se afirmar que o teor de 75% representa o melhor resultado, com um coeficiente de capilaridade 39,71% inferior ao traço de referência.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da argamassa com incorporação de pó de quartzo, verificando a influência nas propriedades deste material. Dessa forma, foram feitas substituições de 50%, 75% e 100% da areia por pó de quartzo, a fim de compreender o seu comportamento no estado fresco e endurecido.

Desse modo, diante das análises feitas e dos resultados alcançados, pode-se destacar as seguintes conclusões:

- O resíduo pó de quartzo possui uma distribuição granulométrica adequada, com as partículas do material estando distribuídas de acordo com os limites normatizados, além de apresentar uma maior quantidade de finos em comparação a areia natural, o que proporcionou uma melhor compactação, pois reduz a quantidade de vazios, propiciando melhoria na resistência mecânica, para os traços formulados, além de uma menor absorção de água para os traços T75 e T100. As massas específicas semelhantes foram um aspecto positivo de compatibilidade, para obtenção de coesão da mistura.

- A partir da análise do índice de consistência, verificou-se que as argamassas produzidas com o resíduo mineral aumentaram o consumo de água, necessitando uma maior relação água/cimento, à medida que se elevava o percentual de substituição, para atingir o espalhamento dentro do limite determinado pela NBR 13276 (ABNT, 2005), isso se deve ao menor módulo de finura que confere uma maior área superficial ao resíduo, fazendo com que seja necessário aumentar a quantidade de água de amassamento para manter a mesma consistência. Uma alternativa para manter a consistência sem alterar o fator a/c é o uso de aditivo plastificante, que proporciona fluidez à mistura. A densidade de massa teve resultados levemente superiores em relação à argamassa de referência.

- Para o ensaio de resistência à compressão, pode-se notar que a utilização de pó de quartzo em substituição parcial ao agregado miúdo é favorável, uma vez que, todas as argamassas com teores

de resíduo apresentaram valores maiores ao serem comparadas com o traço de referência. Dentre essas, o traço T75 mostrou o melhor desempenho, em razão do preenchimento mais eficiente de vazios que resulta numa mistura mais coesa, conferindo maior resistência.

– O ensaio de absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade demonstrou que a argamassa com teor de 50% foi a que obteve maior taxa de absorção. As argamassas com porcentagem de 75% e 100% de substituição apresentaram resultados inferiores aos de referência, tendo o traço T75 mostrado o menor valor do coeficiente de capilaridade.

Diante do exposto, é possível afirmar que a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo pó de quartzo em argamassas, de forma geral, apresentou resultados positivos, tornando-se uma alternativa viável, tendo o traço T75 apresentado as melhores características, de maneira geral. Ademais, a utilização desse material contribui para a redução do descarte inadequado e diminui a demanda por recursos naturais, promovendo, assim, a sustentabilidade ambiental e minimizando os danos ao meio ambiente. Podendo ainda resultar em custos mais baixos, por ser um produto secundário do setor de mineração. No entanto, faz-se necessário o desenvolvimento de novas pesquisas, a fim de entender melhor o comportamento e as características da argamassa através da incorporação do resíduo, para obter o desempenho mais satisfatório.

Portanto, com o objetivo de compreender melhor a influência do pó de quartzo no comportamento das argamassas e aprofundar conhecimentos, são sugeridos os seguintes estudos futuros:

- Avaliação da resistência à tração na flexão para os traços usados nesse trabalho;
- Avaliação da resistência de aderência para os traços usados nesse trabalho;
- Caracterização química e mineralógica do resíduo.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, S. **Projeto quartzo industrial Dueré-Cristalândia (TO)**. Goiânia: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 59 p. (Série Rochas e Minerais Industriais, nº 06), 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas – Requisitos e métodos de ensaio Parte 1: Argamassa para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16916**: Agregado miúdo – Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16972**: Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 17054**: Agregados - Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.
- AZERÊDO, A. F. N. **Estudo do resíduo de caulim em argamassas a base de cal quanto às suas propriedades frescas, endurecidas e microestruturais**. 2012. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/13873/1/TESE%20Aline%20Figueiredo%20N%3%b3brega%20de%20Azer%3%aado.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- BATISTA, L. S.; SANTOS, B. S. dos; PERÔNICA, D. S.; RODRIGUES, I. G.; SANTOS, P. K. Estudo da utilização de resíduo de quartzo em concreto alternativo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 9. 2018, São Bernardo do Campo. **Anais** [...]. São Bernardo do Campo: Congea, 2018. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/XI-016.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- BATISTA, M. L. Gestão de resíduos na construção civil: ênfase no desenvolvimento sustentável /

Waste management in civil construction: emphasis on sustainable development. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 23356–23373, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/45992>. Acesso em: 18 abr. 2023.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2ª ed. ISAIA, Geraldo Cechella – São Paulo: IBRACON, 2010, Cap. 28 – Argamassas, pág. 885 a 936.

CARLOS, E. M. **Efeito da adição de resíduo de scheelita no comportamento térmico-mecânico e reológico de argamassas para engobes cerâmicos**. 2018. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/25066/1/ElioneMouraCarlos\\_TESE.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/25066/1/ElioneMouraCarlos_TESE.pdf). Acesso em: 30 mar. 2023.

COELHO, B. **Um guia completo sobre todos os tipos: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos**. 2019. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/tipos-de-pesquisa/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

COSTA, I. **Estudo comparativo entre as argamassas de revestimento externo: preparada em obra, industrializada fornecida em sacos, e estabilizada dosada em central**. 2016. 84 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale de Taquari - UNIVATES, Lajeado, 2016. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/f872f6ea-536d-4160-8bcf-cc97add9f2c3/content>. Acesso em: 03 nov. 2023.

FALCÃO, S. L. T. de G. **Caracterização das argamassas antigas da Igreja do colégio de Portimão**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada ao Patrimônio Cultural) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/8849/1/ulfc104269\\_tm\\_Silvia\\_Falc%c3%a3o.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/8849/1/ulfc104269_tm_Silvia_Falc%c3%a3o.pdf). Acesso em: 02 nov. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Riscos e Oportunidades de Negócios em Mineração e Metais no Brasil**. Belo Horizonte: IBRAM, 2021. 10 p. Disponível em: [https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/04/Estudo-Mineracao-e-Metais\\_EY-e-IBRAM\\_Versao-050421.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/04/Estudo-Mineracao-e-Metais_EY-e-IBRAM_Versao-050421.pdf). Acesso em: 21 nov. 2023.

LAVERDE, Albenise *et al.* **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 3. ed. ISAIA, Geraldo Cechella - São Paulo: IBRACON, 2017.

LIMA, W.E.F.; ROCHA, D. M. A.; ALMEIDA, A. O.; MONTE JUNIOR, I. V. Avaliação de argamassas com substituição do agregado miúdo natural por resíduos cerâmicos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS*, 22. 2016, Natal. **Anais [...]**. Natal: CBECiMat, 2016.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo: EPUSP, 1998.

MEDEIROS, M. **Estudo de argamassas de revestimento com resíduo de scheelita**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/22457/1/MauriceiaMedeiros DISSERT.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

MORI, V.; SANTOS, R. L. C. dos; SOBRAL, L. G. S. **Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais.** Série Tecnologia ambiental. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

PACHECO, A. A. L.; SOARES, M. C. P.; SANTOS, M. F. M. dos; SCHENKEL, E. A.; MENDES, B. F.; FUJIWARA, E.; SUZUKI, C. K. **Efeito da adição de pó fino de quartzo na trabalhabilidade, resistência e microestrutura do concreto convencional.** In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 60. Águas de Lindóia, 2016.

PIUCO, L. H.; GODINHO, D. dos S. da S. **Análise do comportamento da argamassa de revestimento com utilização de pó de feldspato em substituição parcial ao agregado miúdo.** 2017. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017. Disponível em:  
<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/5565/1/LuizHenriquePiuco.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

RAMALHO NETA, D. de S.; BATISTA, L. S.; OLIVEIRA, N. K. A. de; PASSOS, M. G.; ANDRADE, S. S. F. Estudo do potencial de substituição da areia por resíduo de mineração de quartzo em concretos asfálticos. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 2. 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Conresol, 2019. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/I-073.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** 2006. 316 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

ROMÃO, B. S. dos S.; FERNANDES, C. A. M. **Análise da resistência à compressão da argamassa estabilizada.** 2017. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em:  
<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/47711/1/BRUNO%20S%20c%89RGIO%20DOS%20ANTOS%20ROM%20c%83O%20e%20CARLOS%20AUGUSTO%20MARZUCA%20FERNANDES%20-%20AN%20c%81LISE%20DA%20RESIST%20c%8aNCIA%20c%80%20COMPRESS%20c%83O%20DA%20ARGAMASSA%20ESTABILIZADA.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2023.

SANTOS, R. A. dos; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. M. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. 2012. **HOLOS**, [S. L.], v. 5, p. 125-135. 2012. DOI: 10.15628/holos.2012.1119. Disponível em:  
<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1119/604>. Acesso em: 07 nov. 2023.

SARAIVA, A G. **Contribuição ao estudo de tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada.** 1998. 190 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

SILVA JUNIOR, E. R. da; FERREIRA, M. L. M.; MIRANDA, B. T. da S.; BATISTA, L. S. Substituição parcial do agregado miúdo por resíduos da mineração em concretos de pavimento rígido. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E SUSTENTABILIDADE, 2. 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Conresol, 2019. Disponível em:  
<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/I-072.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2023

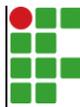
SOUSA, J. G. G.; BAUER, E. Estudo da reologia das argamassas de revestimento no estado fresco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 15. 2002, Natal. **Anais [...]**. Natal: CBECiMat, 2002.

## MATERIAL COMPLEMENTAR

### ▪ FIGURAS ADICIONAIS

Imagens que mostram o desenvolvimento do trabalho.



	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

## Documento Digitalizado Restrito

### TCC

<b>Assunto:</b>	TCC
<b>Assinado por:</b>	Emerson Silva
<b>Tipo do Documento:</b>	Dissertação
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Restrito
<b>Hipótese Legal:</b>	Informação Pessoal (Art. 31 da Lei no 12.527/2011)
<b>Tipo da Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Emerson Ribeiro da Silva, ALUNO (201812200049) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS, em 23/02/2024 13:02:36.

Este documento foi armazenado no SUAP em 23/02/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1091670

Código de Autenticação: 8e58e46b39

