



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS



VÍCTOR VALÉRIO LANDIM DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS INOVADORES A
BASE DE GESSO E RESÍDUO PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

JOÃO PESSOA-PB

JULHO/ 2022

VÍCTOR VALÉRIO LANDIM DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS INOVADORES A
BASE DE GESSO E RESÍDUO PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Ricardo Peixoto Suassuna Dutra

JOÃO PESSOA-PB

JULHO/ 2022

S586d Silva, Vítor Valério Landim da.

Desenvolvimento de materiais cerâmicos inovadores a base de gesso e resíduo para uso na construção civil / Vítor Valério Landim da Silva. - João Pessoa, 2022.

72 f. : il.

Orientação: Ricardo Peixoto Suassuna Dutra. Dissertação
(Mestrado) - UFPB/CT.

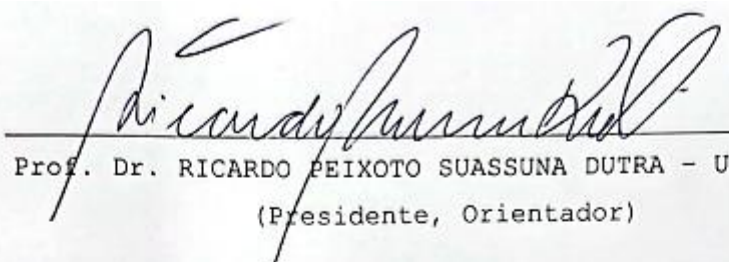
UFPB/BC

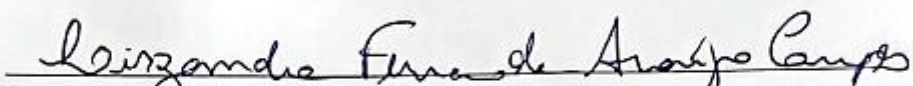
CDU 69(043)

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS CERÂMICOS INOVADORES A BASE DE GESSO E RESÍDUO PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

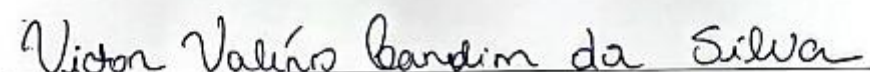
VÍCTOR VALÉRIO LANDIM DA SILVA

Dissertação, defendida e aprovada em 28 de julho de 2022 pela banca examinadora
constituída dos membros:


Prof. Dr. RICARDO PEIXOTO SUASSUNA DUTRA - UFPB/PPCEM
(Presidente, Orientador)


Prof^a. Dra. LISZANDRA FERNANDA ARAUJO CAMPOS - UFPB/PPCEM
(Examinadora Interna)


Prof. Dr. ULISSES TARGINO BEZERRA
(Examinador Externo à Instituição)


VÍCTOR VALÉRIO LANDIM DA SILVA
(Discente)

JOÃO PESSOA-PB
JULHO- 2022

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao criador e ao universo por me proporcionarem infinitas bençãos. Praticar o exercício da gratidão é revolucionário e trouxe uma paz inigualável para o meu coração.

Agradeço especialmente a minha família: **José, Edilânia, Heleno, Renan, Ivonete e Iara** por todo amor, compreensão e apoio estendidos a mim não somente nesta etapa da minha vida, mas em todos os outros momentos. A palavra 'Amor' tem somente quatro letras, mas a profundidade do seu significado é infinita.

Expresso especialmente o meu profundo carinho, admiração e gratidão ao meu orientador **Ricardo Peixoto Suassuna Dutra** por todo empenho, dedicação e prontidão em me auxiliar durante este percurso. Sem dúvidas você é uma referência para mim não somente como profissional, mas como ser humano.

Agradeço imensamente a professora **Lizandra Fernanda Araújo Campos** que durante o exercício do estágio docência sob a sua supervisão me ensinou tanto sobre o ofício e despertou em mim um sentimento de empoderamento profissional que há muito tempo estava adormecido. Graças aos seus ensinamentos, palavras de encorajamento e incentivo venci inúmeros medos e quebrei diversas barreiras.

De maneira geral agradeço ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais- PPECM e a todos os docentes, laboratoristas e técnicos administrativos que compõem esta fabulosa equipe.

Agradeço a **CAPES** e a **FAPESQ-PB** pelo apoio financeiro concedido e espero que o fomento e a valorização a pesquisa e aos pesquisadores voltem a ser prioridade máxima.

Agradeço especialmente a mim, Vítor Valério Landim da Silva, por nunca ter desistido dos meus propósitos e seguido em frente com a chama da esperança acesa no meu coração mesmo quando tudo estava correndo ao contrário da correnteza.

**Não me arrependo de nada, nem do bem que me fizeram, nem do mal. Tudo isso tanto faz.
Não me arrependo de nada. Está pago, varrido, esquecido.**

Michel Vaucaire

RESUMO

A Construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e a redução de recursos propicia um ambiente de inovação com o intuito de desenvolver métodos e produtos que minimizem os custos e alavanquem o sistema produtivo. O reaproveitamento de resíduos corrobora na redução de custos em várias etapas do processo construtivo devido à otimização do seu uso e à diminuição dos desperdícios e das perdas. Diante de tantos impactos negativos causados pelo acúmulo dos resíduos ao meio ambiente, buscou-se soluções ambientalmente responsáveis, adequando-se ao princípio dos 5 R's – Repensar, Recusar, Reduzir, Reutilizar e Reciclar. Como alternativa de amenizar tais problemas, promoveu-se a substituição parcial da gipsita (recurso não renovável) nas proporções de 5%, 10% e 15% por resíduos de rochas ornamentais (mármore e granito), utilizando-as no processo de fabricação dos blocos de gesso sustentáveis e analisando as suas propriedades e características. Após a execução de todos os ensaios físicos e mecânicos conclui-se que houve acréscimos e melhorias significativas nas propriedades dos blocos sustentáveis analisados, no que tange a: resistência à flexão, dureza e massa específica. Com relação a capacidade de absorção de água houve diminuição no percentual de absorção dos blocos sustentáveis em relação ao bloco tradicional. Portanto, após o presente estudo, identificou-se que a utilização dos resíduos de rochas ornamentais no processo produtivo de blocos de gesso apresenta inúmeros benefícios e constata-se de maneira direta o seu alto potencial de promoção à inovação sustentável.

Palavras-Chave: Gipsita, Resíduo de Rocha Ornamental; Bloco; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Civil construction is one of the oldest activities known and the reduction of resources provides an environment of innovation in order to develop methods and products that minimize costs and leverage the production system. The reuse of residues corroborates in the reduction of costs in several stages of the construction process due to the optimization of its use and the reduction of waste and losses. In view of the many negative impacts caused by the accumulation of waste in the environment, environmentally responsible solutions were sought, adapting to the principle of the 5 R's - Rethink, Refuse, Reduce, Reuse, and Recycle. As an alternative to mitigate such problems, we promoted the partial substitution of gypsum (non-renewable resource) in the proportions of 5%, 10% and 15% by waste ornamental rocks (marble and granite), using them in the manufacturing process of sustainable plaster blocks and analyzing their properties and characteristics. After the execution of all physical and mechanical tests it was concluded that there were significant increases and improvements in the properties of the sustainable blocks analyzed, regarding: flexural strength, hardness and density. Regarding the water absorption capacity, there was a decrease in the percentage of absorption of sustainable blocks compared to traditional blocks. Therefore, after this study, it was identified that the use of ornamental stone waste in the production process of gypsum blocks presents numerous benefits and its high potential for promoting sustainable innovation is directly observed.

Keywords: Gypsum, Ornamental Stone Waste; Block; Sustainability.

SUMÁRIO

1 ESTRUTURA DO TRABALHO	1
2 INTRODUÇÃO.....	2
2.1 Justificativa.....	3
3 OBJETIVOS	6
3.1.1 Objetivo Geral	6
3.1.2 Objetivos Específicos.....	6
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Gesso	7
4.2 Rochas Ornamentais.....	11
4.2.1 Processo de Extração das Rochas	14
4.2.2 Extração da Lavra e Beneficiamento	15
4.3 Classificação dos Resíduos.....	18
4.3.1 Classificação dos Resíduos de Rochas Ornamentais.....	19
4.4 Blocos de Gesso	20
5 METODOLOGIA.....	22
5.1 Caracterização do Resíduo de Rochas Ornamentais.....	22
5.1.1 Ensaios Físicos	22
5.1.2 Início e Fim de Pega das Dosagens	23
5.1.3 Granulometria.....	24
5.2 Caracterização do Gesso	25
5.3 Blocos de Gesso Sustentáveis	26
5.3.1 Produção.....	26
5.4 Caracterização dos Blocos Sustentáveis	27
5.4.1 Capacidade de Absorção dos Blocos	27
5.4.2 Densidade dos Blocos	29
5.4.2.1 Determinação da espessura do bloco	30
5.4.2.2 Determinação do comprimento do bloco	30
5.4.2.3 Determinação da altura do bloco	31
5.4.3 Medida da espessura da superfície do vazado	32
5.4.4 Determinação da Densidade dos Blocos	32
5.4.5 Dureza.....	33
5.4.6 Resistência à flexão	34

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
6.1 Caracterização Física do Gesso e do Resíduo de Rochas Ornamentais	35
6.1.1 Granulometria a Laser	35
6.1.2 Início e fim de Pega.....	37
6.2 Blocos de Gesso Sustentáveis	38
6.2.1 Capacidade de Absorção de Água dos Blocos	38
6.2.2 Densidade dos Blocos	39
6.2.3 Resistência à Flexão dos Blocos.....	40
6.2.4 Dureza dos Blocos	42
7 CONCLUSÃO	43
8 SUGESTÕES FUTURAS	44
REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE A	54
APÊNDICE B	58

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DO POLO GESSEIRO DO ARARIPE.....	9
FIGURA 2: VARIEDADES DE GIPSITA E AMOSTRA DE ANIDRITA ENCONTRADAS NA REGIÃO DO ARARIPE, PERNAMBUCO: (A) JOHNSON; (B) COCADINHA; (C) RAPADURA; (D) ESTRELINHA; (E) SELENITA; (F) ALABASTRO; (G) BORÓ E (H) ANIDRITA.	9
FIGURA 3: PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS.	15
FIGURA 4: EXTRAÇÃO DE BLOCOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS.	16
FIGURA 5: BENEFICIAMENTO (CORTE) DA ROCHA.	17
FIGURA 6: CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.	18
FIGURA 7: COLETA E TRATAMENTO DO RESÍDUO DE ROCHAS ORNAMENTAIS: MATERIAL EM FORMA DE LAMA (A), MATERIAL NA ESTUFA PARA SECAGEM (B), MATERIAL APÓS SECAGEM (C) E MATERIAL EM PROCESSO DE DESTORROAMENTO (D).	23
FIGURA 8: PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	24
FIGURA 9: TIPOS DE BLOCOS PRODUZIDOS.	26
FIGURA 10: PREPARAÇÃO DA MISTURA.	26
FIGURA 11: MOLDAGEM DOS BLOCOS.	27
FIGURA 12: PREENCHIMENTO DOS VAZIOS COM ESPUMA EXPANSIVA.	28
FIGURA 13: DETERMINAÇÃO DO PESO DOS BLOCOS.	29
FIGURA 14: IMERSÃO DOS BLOCOS.....	29
FIGURA 15: ESPESSURA DOS BLOCOS.	30
FIGURA 16: COMPRIMENTO DOS BLOCOS.	31
FIGURA 17: ALTURA DOS BLOCOS.	31
FIGURA 18: ESPESSURA DA SUPERFÍCIE DO VAZADO.....	32
FIGURA 19: DETERMINAÇÃO DA DUREZA DO BLOCO.	33
FIGURA 20: RESISTÊNCIA À FLEXÃO DOS BLOCOS.	35
FIGURA 21: GRANULOMETRIA A LASER DO GESSO.	36
FIGURA 22: GRANULOMETRIA A LASER DO RESÍDUO	36
FIGURA 23: ABSORÇÃO DOS BLOCOS	39
FIGURA 24: DENSIDADE DOS BLOCOS.	40
FIGURA 25: RESISTÊNCIA À FLEXÃO.	41
FIGURA 26: EMPACOTAMENTO DOS GRÃOS.	41
FIGURA 27: DUREZA DOS BLOCOS.	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DO GRANITO.	13
TABELA 2: CLASSIFICAÇÃO DO MÁRMORE.	13
TABELA 3: CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS	23
TABELA 4: CARACTERIZAÇÃO DO GESSO.	25
TABELA 5: ENSAIO DE TEMPO DE PEGA.	37
TABELA 6: ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS BLOCOS.	38
TABELA 7: MASSA ESPECÍFICA DOS BLOCOS	39
TABELA 8: RESISTÊNCIA À FLEXÃO.	40
TABELA 9: DUREZA DOS BLOCOS	42
TABELA 10: MASSA ESPECÍFICA DOS BLOCOS.	54
TABELA 11: CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS BLOCOS.	55
TABELA 12: ANÁLISE DA DUREZA DOS BLOCOS.	56
TABELA 13: ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DOS BLOCOS.	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A_b : Absorção de água
 A_m : Altura média
 C_m : Comprimento médio
 E_m : Espessura média
 R_f : Módulo de resistência à flexão
B: Largura
D: Diâmetro
H: Altura
L: Distância
M: Massa
Mín: Mínimo
P: Carga
Vt: Volume total

1 ESTRUTURA DO TRABALHO

O referido trabalho foi estruturado em seis capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução referente ao tema abordado e uma breve contextualização da pesquisa junto ao panorama atual da construção civil. Em seguida são apresentados os objetivos e a justificativa da pesquisa na qual são levadas em consideração questões que fundamentam diretamente a sua alta relevância e aplicabilidade para o mercado da construção civil no Brasil.

No capítulo dois é apresentada a fundamentação teórica acerca do tema abordado, caracterizando os elementos presentes na pesquisa, através de uma revisão da literatura minuciosa e especializada. É abordado o papel ambiental da construção civil, e sua relação direta com o meio ambiente, e o conceito, classificação e propriedades do gesso, que em seguida é contextualizado com a produção de rochas ornamentais no Brasil descrevendo diretamente a sua importância, seu processo construtivo e os principais impactos causados ao meio ambiente.

Já no capítulo três é descrita a metodologia da pesquisa adotada através do detalhamento do programa experimental, caracterização dos materiais utilizados e descrição dos componentes e das etapas de execução dos ensaios realizados.

No capítulo quatro são apresentados, analisados, discutidos os resultados obtidos a partir dos objetivos propostos.

O capítulo cinco aponta as considerações finais acerca do referido estudo e no tópico seis encontra-se sugestões futuras a serem desenvolvidas.

2 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a necessidade do ser humano de habitar em edificações, a tecnologia tem fornecido com o passar dos séculos conforto, segurança e qualidade de vida à maioria das pessoas. A viabilidade econômica é fator preponderante para que tudo isso seja cabível a realidade das mais variadas classes sociais. Entretanto a escassez de recursos propicia um ambiente de inovação com o intuito de desenvolver métodos e produtos que minimizem os custos e alavanquem o sistema produtivo. Por sua vez a construção civil se utiliza dessa realidade para fluir com o auxílio da ciência.

Desenvolvimento sustentável é aquele que consegue utilizar os recursos naturais disponíveis para atender as necessidades das gerações presentes sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem as suas necessidades. Reciclagem é um conjunto de técnicas que tem por finalidade reaproveitar os detritos e reutilizá-los no ciclo de produção de que saíram. É o resultado de uma série de atividades, pelas quais materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos. As indústrias recicladoras são também chamadas secundárias, por processarem matéria-prima de recuperação (AGUIAR, 2007).

O crescente desenvolvimento do setor da construção civil causa graves danos ao meio ambiente e pode colocar em risco a sua sustentabilidade. Tal problema se deve ao fato de que além de consumir matéria-prima oriunda de fontes não renováveis (rocha, areia, argila) o setor da indústria da construção civil apresenta muito desperdício de materiais, gerando milhões de toneladas de resíduos. Como a maioria dos países não tem um plano específico para o tratamento destes materiais, os rejeitos são enviados para lixões ou aterros em vez de serem reutilizados em novos produtos. Desta forma, é cada vez mais urgente considerar os impactos potenciais e reais associados ao ambiente construído (ONOFRE *et al.*, 2016).

A necessidade de adequação da indústria da construção ao novo modelo de desenvolvimento econômico mundial, onde a busca da sustentabilidade do setor é inquestionável, exige uma análise interativa de toda sua cadeia produtiva, constituída por diferentes segmentos industriais, que fornecem os insumos necessários à construção civil.

Entre estes segmentos podem ser citados os da indústria siderúrgica, da indústria cimenteira, da indústria gesseira, e afins. Em geral, suas atividades se iniciam com a extração de recursos naturais que em seguida passam pelo processo de beneficiamento e posteriormente à aplicação do material na construção propriamente dita (KURESKI *et al.*, 2008).

O setor de beneficiamento de rochas ornamentais é um dos principais fornecedores de materiais para construção civil, em que todas as fases de produção geram resíduos, desde a etapa de extração até a fase do acabamento.

Nesse viés, surge a necessidade de sanar essa problemática que está relacionada com o tratamento, reciclagem, reutilização e processamento dos resíduos de rochas ornamentais que são gerados em todo o ciclo do processo de beneficiamento e que são depositados na natureza provocando sérios impactos ao meio ambiente.

O resíduo oriundo do beneficiamento de rochas ornamentais gerado no centro urbano da cidade de Juazeiro do Norte-CE foi o objeto de estudo do presente trabalho, buscando-se dessa forma promover o aproveitamento do resíduo como material de construção na produção de blocos de gesso sustentáveis para vedação vertical.

2.1 Justificativa

A sustentabilidade é baseada em três aspectos: o ambiental, o econômico e o social, que devem coexistir em equilíbrio. Como estes aspectos representam variáveis independentes, as escolhas resultantes serão diferentes em cada situação apresentada. Portanto, não existe receita nem cálculo absoluto que determine o que deve ser feito ou não, para que um projeto caminhe na direção de uma maior sustentabilidade, sendo a proposta de cada projeto e estudo fruto de escolhas específicas, únicas e originais (ECOBRAIL,2022).

Entre os diferentes segmentos da cadeia produtiva da construção civil, o segmento gesseiro apresenta um grande potencial de contribuição para a sustentabilidade da indústria da construção, devido ao baixo consumo energético do processo de produção e da viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados ao longo de sua cadeia produtiva (JOHN; CINCOTTO, 2007).

A gipsita é o mineral sulfatado mais abundante do mundo. No ano de 2018, segundo a ANM (2020) a produção brasileira de gipsita foi de 2,1 milhões de toneladas. O Estado de Pernambuco é o principal produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável por 79,7% do total produzido. Neste, destaca-se o Polo Gesseiro do Araripe, situado no extremo oeste pernambucano e formado pelos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri. Os outros estados brasileiros responsáveis pela produção da gipsita são Maranhão (17,3%), Tocantins (2,2%), Pará (0,4%), Amazonas (0,2%), Rio Grande do Norte (0,1%) e Ceará (0,1%).

Neste segmento ganha-se destaque o setor de rochas ornamentais, que se trata de um dos principais departamentos que contribuem sobremaneira com o aumento desenfreado do volume de agregados descartados de maneira inadequada na natureza.

No período de janeiro a setembro de 2020 as exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 705,1 milhões e 1.622.078 toneladas. EUA, China, Itália, Reino Unido e México representam os cinco principais destinos, em faturamento e volume físico, das exportações. As vendas para os EUA totalizaram US\$ 435,2 milhões e 636,8 mil toneladas, enquanto as vendas para a China totalizaram 615,4 mil toneladas e US\$ 91,5 milhões (ABIROCHAS, 2020).

O beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente à transformação dos blocos, extraídos nas jazidas em uma espécie de lavra que é formada durante os processos de corte/serragem na presença de água e que posteriormente se transformam nos produtos acabados ou semiacabados. Desta forma, podem se separar as fases de beneficiamento em primário, ou desdobramento, e secundário (CETEM, 2014).

O beneficiamento primário também é conhecido como serragem ou desdobramento e consiste no corte dos blocos em chapas com espessuras bastante próximas do produto acabado. Isso é feito com uso de equipamentos como teares multilâmina, tear monolâmina, talha-blocos de disco diamantado, teares multifio diamantados ou monofio diamantado (CETEM, 2014).

No beneficiamento secundário, ou final, são obtidos os diversos produtos a serem consumidos pelo setor de aplicação de rochas ornamentais nas suas diversas modalidades. Os processos envolvidos são de grande diversidade e variada complexidade, envolvendo o tratamento superficial, que representa a fase na qual as chapas brutas são polidas, apicoadas ou flameadas e transformadas em chapas

acabadas. Os principais grupos de produtos obtidos a partir do processamento de mármore e granitos para aplicação na indústria da construção civil são: painéis para revestimento externo, ladrilhos para pavimentação, ladrilhos para revestimento, degraus e parapeitos, meios-fios, molduras e rodapé, mesas e bancadas para decoração, colunas e produtos especiais (CETEM, 2014).

Em Juazeiro do Norte-CE, município de estudo e análise do resíduo de rochas ornamentais, algumas das marmorarias despejam a lama oriunda do processo de beneficiamento nos corpos d'água o que acaba por ocasionar diretamente prejuízos a qualidade da água do corpo hídrico. O rio salgado que cruza o município em questão está totalmente poluído devido a interferência das mais variadas ações humanas e em especial à prática descrita anteriormente.

O reaproveitamento do resíduo de rochas ornamentais, acarreta a redução de custos em várias etapas do processo construtivo devido à otimização do uso da matéria prima, no que se refere ao aumento da produtividade e à diminuição dos desperdícios e das perdas. A utilização de materiais reciclados nos processos construtivos, sejam oriundos da construção civil ou não, reduz a demanda por insumos não renováveis, além de reduzir a pressão ambiental nas áreas destinadas ao descarte sendo, portanto, uma alternativa de uso dos materiais convencionais, os quais geram um impacto maior no ambiente devido a todo o seu processo extração e posterior beneficiamento.

Contudo, pode-se inferir de maneira objetiva que a incorporação do pó de rochas ornamentais em substituição parcial ao aglomerante natural (gesso), ocasionará vantagens nos quesitos: ambiental, econômico e social.

Ambiental: porque minimizará a exploração de gesso, sendo que esse aglomerante será substituído parcialmente pelo resíduo. Os rejeitos de rochas ornamentais terão destino adequado, evitando acúmulo de poluentes no meio ambiente.

Econômico: pois reduzirá o consumo de energia (já que o rejeito não passará por nenhum tipo de beneficiamento e será utilizado na sua forma natural), o que resultará em um produto de baixo custo.

Social: pois a partir da produção do bloco sustentável haverá uma expressiva diminuição no processo de extração dos recursos naturais que estão ligados diretamente aos problemas e processos sociais referentes à preservação das futuras gerações.

Neste contexto o bloco enriquecido produzido com resíduos de rochas ornamentais surge como uma ótima alternativa para obtenção de um produto ecologicamente correto, de fácil manuseio e que atenda às especificações técnicas vigentes.

Portanto o presente trabalho trata-se do estudo focado na produção de blocos utilizando como matéria prima o gesso do tipo beta- β , tal fato justifica-se devido à grande abundância de jazidas de gipsita na região do polo do Araripe e ao baixo custo de aquisição e produção dos blocos sustentáveis com este tipo de gesso.

3 OBJETIVOS

3.1.1 Objetivo Geral

Estudar a influência da substituição parcial da gipsita por resíduos de rochas ornamentais na produção de blocos de gesso sustentáveis, buscando-se desenvolver um novo produto sustentável.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar a viabilidade técnica do resíduo como material alternativo, garantindo uma nova forma de destinação final e promovendo a sua reinserção no ciclo produtivo;
- Caracterizar fisicamente os componentes da mistura para produção dos blocos (gesso e o resíduo);
- Estudar as propriedades físicas e a resistência à flexão dos blocos de gesso perante os diferentes percentuais de incorporação do resíduo;
- Desenvolver um produto novo e reduzir os impactos ambientais gerados a partir do lançamento inadequado de resíduos na natureza.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Gesso

Os primeiros estudos científicos relacionados ao gesso remontam ao final do século XVIII e início do século XIX, quando Lavoisier, em 1798, apresentou à Academia de Ciências Francesa o primeiro estudo sobre os fenômenos relacionados à origem da preparação do gesso e em seguida elaborou uma explicação científica sobre a desidratação da gipsita e a hidratação do gesso (JOHN; CINCOTTO, 2007).

Na Europa, o uso do gesso na construção civil popularizou-se a partir do século XVIII, quando também passou a ser utilizado como corretivo de solos (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

O gesso é um dos materiais de construção mais vetustos utilizados pelo homem para esta finalidade (PADILHA NETO, 2019).

As primeiras aplicações do gesso di-hidratado, ou gesso in natura ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), foram identificadas nas pirâmides do Egito e na Turquia, por volta do IX milênio a.C., em obras de arte e de decoração (BALTAR, LUZ e BASTOS, 2005; CANUT, 2006). A partir do ano 3000 a.C., passou a ser utilizado como material de construção classificado como um aglomerante aéreo (BALTAR, LUZ e BASTOS, 2005; MEHTA e MONTEIRO, 2014; LIMA, 2019, p. 11).

O gipso é uma rocha sedimentar que apresenta basicamente em sua composição a gipsita. A gipsita é um mineral compacto de baixa dureza, pouco solúvel em água, e é a matéria-prima para o gesso, sua fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (OLIVEIRA, *et al.*, 2012).

O gesso se origina a partir do aquecimento a uma temperatura por volta de 160°C , e a posterior diminuição de um mineral presente em abundância na natureza: a gipsita (PADILHA NETO, 2019). O grande interesse pela gipsita é atribuído a uma característica singular que consiste na facilidade de desidratação e reidratação (BALTAR; BASTOS; LUZ, 2005).

A gipsita perde 3/4 da água de cristalização durante o processo de calcinação, convertendo-se a um sulfato hemidratado de cálcio ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) que, quando

misturado com água, pode ser moldado e trabalhado antes de endurecer e adquirir a consistência da forma estável reidratada (CETEM, 2014).

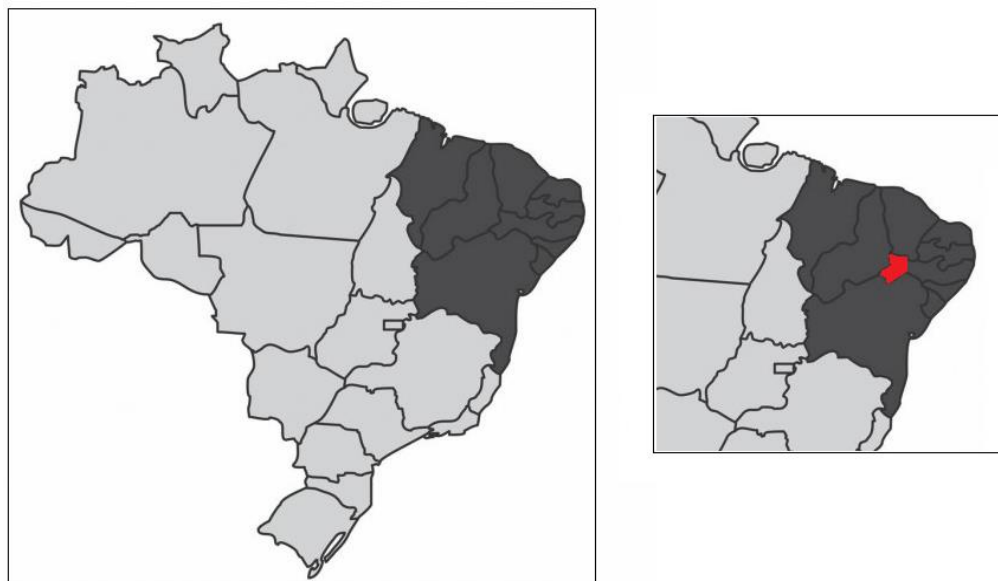
A gipsita é um mineral industrial produzido em diversos países do mundo que movimentam cerca de 125 milhões de toneladas por ano. Sendo uma mercadoria de baixo valor unitário, o seu comércio internacional é limitado e a sua importância ressalta na sua transformação a jusante, atrelada principalmente à cadeia da construção civil (LIRA, *et al.*, 2015).

Segundo a *U.S. Geological Survey*, a China destaca-se como a maior produtora mundial desse mineral, com 32% do total. O Brasil, com 2,2%, é o maior da América do Sul, colocando-se no ranking dos 15 maiores do mundo. A indústria de cimento é responsável pela maior demanda mundial de gipsita (MME, 2021).

A região Nordeste do Brasil apresenta polos dinâmicos de desenvolvimento e grandes recursos naturais com fantásticas possibilidades de investimento. Integra, entre outras riquezas do solo nordestino, o Polo Gesseiro do Nordeste do Brasil, um dos maiores depósitos exploráveis de gipsita do continente americano, abrangendo vários Estados da Federação, em uma área de 24.000 km² (SINDUSGESSO, 2016).

Os depósitos mais importantes de gipsita fazem parte da sequência sedimentar cretácea, conhecida como Chapada do Araripe, situada nos limites dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, entre os paralelos 7° e 8° da latitude Sul e nos meridianos de 39° e 41° de longitude Oeste. Em Pernambuco, as principais ocorrências estão localizadas nos municípios de: Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubi, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade (Figura 1). A gipsita explorada nessa área é por muitos considerada a de melhor qualidade do mundo, com a pureza do minério variando entre 88% e 98% (BALTAR *et al.*, 2005).

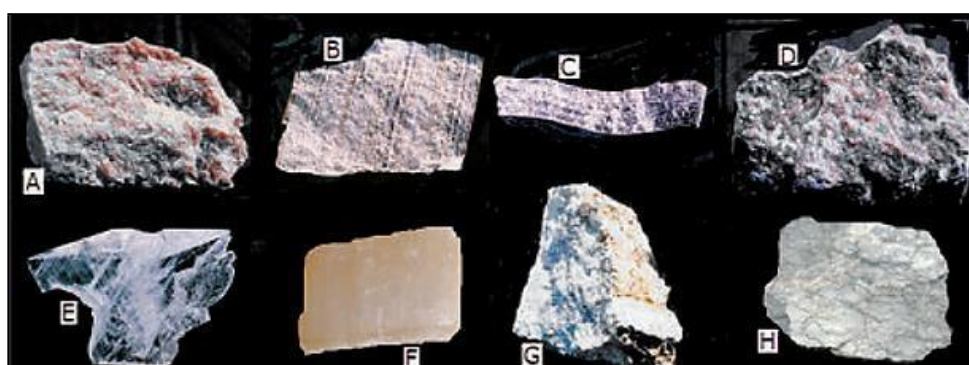
Figura 1: Mapa do Polo gesseiro do Araripe.



Fonte: Adpatdo, Persianas Paraná, 2022.

Na região do Araripe é possível observar variedades de gipsita, conhecidas na área com os nomes de: cocadinha, rapadura, rocha Johnson, estrelinha, alabastro e selenita, além da anidrita (Figura 2). A utilização de cada uma dessas variedades depende da utilização industrial a que se destina (BALTAR *et al.*, 2005).

Figura 2: Variedades de gipsita e amostra de anidrita encontradas na região do Araripe, Pernambuco: (A) Johnson; (B) cocadinha; (C) rapadura; (D) estrelinha; (E) selenita; (F) alabastro; (G) boró e (H) anidrita.



Fonte: Elementos Consultoria, 2018.

A produção de gesso natural acontece basicamente em quatro etapas: extração de gipsita, preparação para calcinação, calcinação e seleção. Após a extração, a gipsita passa por alguns processos de beneficiamento para adequação ao tipo de forno onde será calcinada. Basicamente, as etapas são as seguintes: britagem,

moagem grossa, estocagem, secagem, moagem fina e acondicionamento. A calcinação é o processo térmico pelo qual a gipsita é desidratada. O material é calcinado em uma faixa de temperatura que varia de 140°C a 160°C, para que 75% da água de cristalização seja retirada da estrutura para se obter então o hemidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) (LIRA, *et al.*, 2015).

A calcinação pode ser por via seca ou úmida. Se a gipsita for calcinada seca sob pressão atmosférica, ou baixa pressão, será obtido o hemidrato beta - β , caso a calcinação ocorra sob pressão de vapor de água saturante, será obtido o hemidrato alfa- α , ambos possuem a mesma fórmula química ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) (BEZERRA, 2009).

Pode-se inferir, portanto, que o gesso apresenta duas formas cristalinas distintas: gesso alfa- α e gesso beta- β , que se diferenciam pelo tamanho e forma do cristal (BARBOSA, *et al.*, 2014).

Com relação aos tipos de gesso, o alfa- α , devido ao seu processo de produção apresenta aplicações mais nobres e é utilizado principalmente em ambientes hospitalares, odontológicos e afins pois apresenta melhores propriedades mecânicas e um menor coeficiente de absorção de água, o que conseqüentemente torna o seu custo mais elevado. O gesso do tipo beta- β , possui um custo de produção mais baixo e por esse motivo predomina no mercado de gesso para aplicação na construção civil nacional.

Segundo TESKE, *et al* (2015) as principais formas de utilização do gesso na construção civil são:

- 45% Pré-moldados (placas de gesso para tetos rebaixados, blocos de gesso e painéis);
- 51% Gesso para fundição de pré-moldados e para revestimento de paredes (aplicado manualmente com produção marginal de produtos aplicados por máquinas);
- 4% Moldes de cerâmica.

Segundo SINDUGESSO (2016), de todo o montante de gesso fabricado no Brasil 37% segue para a indústria cimenteira, 52% para a construção civil, 9% para a indústria agrícola e 2% para outros fins, além disso, vem aumentando a demanda de gesso com o desenvolvimento do ramo da construção civil.

Sob estes aspectos, o gesso se tornou um dos materiais com maior crescimento na construção civil aliado ao seu

baixo custo orçamentário, rápida execução e facilidade de manuseio comparado a outros tipos de materiais (ARAUJO; FARIA, 2021), sem contar com os seus aspectos intrínsecos favoráveis à construção civil como, sua elevada plasticidade, pega e endurecimento rápido quando comparados a outros aglomerantes e ausência de retração na secagem o que lhe confere uma maior estabilidade volumétrica após o processo de endurecimento (MONTEIRO, 2015).

4.2 Rochas Ornamentais

O ser humano utiliza a rocha desde os tempos pré-históricos, empregando-a na confecção de utensílios domésticos, armas (para caça e guerra), objetos sacros dentre diversas outras finalidades.

Propositivamente, tem sido utilizada, como elemento construtivo, usado nas casas, na defesa das cidades, e como objeto estético para estas civilizações, principalmente a egípcia. Com o passar do tempo, o advento destes minérios veio com a ascensão do renascimento que trouxe materiais de cores exóticas e exuberantes, assim como também no período neoclássico que destacou a utilização do mármore, levando assim essas rochas ao interior dos grandes centros urbanos, contudo, por conta dos impasses oriundos da extração desses materiais, o mercado não tinha forma de se abastecer. Até que, no final do século XIX e início do século XX, quando se introduz a mecanização na extração e no beneficiamento das rochas de mármore, através do uso do fio helicoidal utilizado no seu processo de extração e, em seguida, do tear, na etapa de desdobramento dos blocos em chapas, o uso do mármore então na arquitetura e na engenharia permaneceu mais intenso e sendo utilizado não somente como elemento ornamental, mas também na parte estrutural. A partir de então, diversas inovações surgiram no setor visando diretamente otimizar todos os processos desde a sua extração, até o seu beneficiamento e logística (ALENCAR, IEL, 2013; HELENE & ANDRADE, 2007; NEVILLE, 2015).

As rochas ornamentais, consoante com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 15012:2013), pode ser definida como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, utilizada para exercer uma função estética. A rocha para revestimento corresponde à rocha natural que,

submetida a processos diversos de beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente para o processo de assentamento de pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil. A rocha de revestimento corresponde ao material rochoso natural selecionado, beneficiado e acabado em formatos e tamanhos específicos são utilizados para atender a requisitos dimensionais exigidos para fins estruturais ou arquitetônicos (ALENCAR, IEL, 2013).

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas rochas naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, compreendem os materiais geológicos naturais que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadrejamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se neste caso os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros (MME, 2009).

De acordo METHA E MONTEIRO (2008), no Brasil as rochas são classificadas em ígneas (granitos e outras), sedimentares (calcários, arenitos, etc), metamórficas (mármore, quartzito, gnaisses, etc).

Do ponto de vista comercial, as rochas ornamentais são divididas basicamente em mármore e granitos, caracterizando-se, os primeiros, como rocha carbonática passível de polimento, incluindo os calcários e os mármore propriamente ditos; e os granitos – expressão generalizada para as rochas silicáticas, que recebem polimento – como os granitos propriamente ditos, os sienitos, charnoquitos, basaltos e rochas similares, petrograficamente classificáveis como de origem ígnea (CAVALCANTI, *et al.*, 2017).

As rochas ígneas, dentre as quais destacam-se os granitos, são compostas por feldspatos, quartzo, piroxênios, anfibólios e feldspatóides. São classificadas de acordo com o conteúdo e proporções relativas desses minerais (FRASCÁ, 2010).

O tipo mais comum de rocha ornamental ígnea utilizada no setor da construção civil é o granito e de acordo com FRASCÁ (2010), pode-se observar as relações pertencentes a este grupo das rochas ornamentais (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação do Granito.

Rocha	Estrutura	Cor	Rochas Comerciais
Granito	Maçiza	Cinza Rosa-Avermelhado	Branco Ceará Cinza Andorinha

Fonte: Adpatado , FRASCÁ (2010).

Com relação ao mármore que é outro tipo de rocha bastante difundido no setor da construção civil e de acordo com FRASCÁ (2010) estas são rochas derivadas de outras preexistentes que, no decorrer dos processos geológicos, exibem mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, em resposta a alterações nas condições físicas e químicas impostas em profundidades superiores àquelas da diagênese.

Os mármore contém mais de 50% de calcita e/ou dolomita, formadas a partir do metamorfismo de calcários e/ou dolomitos. A cor é clara variando em branca, rosada, cinzenta, esverdeada, etc., dependendo da presença de outros minerais, tais como talco, anfíbio (tremolita), piroxênios (diopsídio), olivina (forsterita) entre outros (FRASCÁ, 2010).

Na Tabela 2 pode-se observar as características e relações pertencentes a este grupo de rochas ornamentais.

Tabela 2: Classificação do Mármore.

Rocha	Estrutura	Cor	Rochas Comerciais
Mármore	Maçiza	Cinza a branca (tons de verde ou rosa)	Branco Paraná Branco Espírito Santo

Fonte: Adpatado, FRASCÁ (2010).

Segundo dados do Associação Brasileira de Rochas Ornamentais (SINDIROCHAS), o Brasil possui a 4ª posição de países que mais produzem rochas ornamentais, isso se deve ao fato de ser responsável por cerca de 7% de toda produção mundial no setor de rochas, sendo o estado do Espírito Santo, responsável por cerca de 79% deste montante (SINDIROCHAS, 2019). Este fato é corolário de toda formação geológica do território nacional, que se destaca por se compor totalmente em cima da placa sul-americana e distante das áreas de fogo que as circundam, apresentando assim uma litosfera com composição e desdobramentos arcaicos (WINGE, 2013), gerando, portanto, grandes jazidas de rochas em todo o território nacional.

Na literatura existem estudos que buscam dirimir os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado destes resíduos na natureza, incorporando-os, portanto, no processo produtivo de novos materiais de construção, como já se há na literatura na inserção para a fabricação tijolos cerâmicos (OLIVEIRA; ANDRADE, 2020), concreto auto-adensável (MIRANDA, *et al*, 2018), argamassas (NÓBREGA, *et al*, 2015), Paver's (DE ARAUJO; DOURADO, 2020). Os resíduos de rochas ornamentais se mostram altamente promissores nas pesquisas supracitadas, de modo que auxiliam diretamente na melhoria das propriedades analisadas dos referidos materiais a partir da sua incorporação no processo produtivo, o que para o setor da construção civil é extremamente vantajoso levando-se em consideração que a principal finalidade destes materiais é a de resistir a esforços e garantir a estabilidade da edificação ou das obras em geral.

4.2.1 Processo de Extração das Rochas

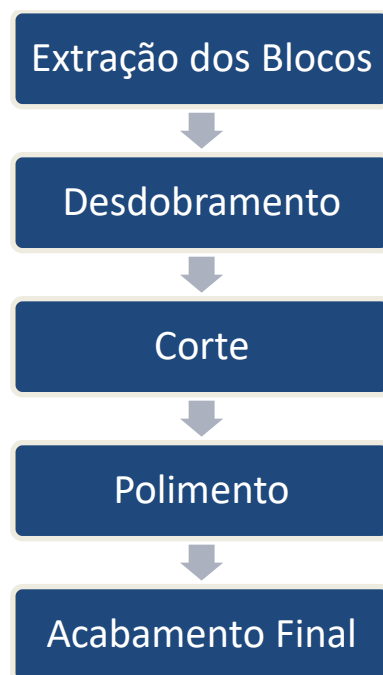
O processo de extração inicia-se com a realização de uma pesquisa de solo, onde se levanta o potencial e qualidade das rochas, dentre outras características. Essa análise é feita por profissionais qualificados, geralmente geólogos e engenheiros de minas que baseados em critérios técnicos, condicionantes geológicas (regionais e locais), estimativas de reservas, constituintes físico-químicos da rocha, deliberam sobre a viabilidade da lavra, ou concluem sobre a melhor forma de extração, evitando perdas e conseqüentemente menores impactos (SOUSA, 2007).

As rochas ornamentais possuem fluxos de processos produtivos diferentes uns dos outros. Cada tipo de rocha apresenta características que exigem técnicas específicas de exploração e beneficiamento, que visam o melhor aproveitamento da jazida e a superior qualidade do produto final. Conforme as características da lavra e do beneficiamento, pode-se dividi-las em três grupos, assim como estabelecido na Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004, em ardósias, mármore e granitos, e quartzitos (GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2015).

O beneficiamento de rochas ornamentais do grupo mármore e granito são divididos em: extração e desdobramentos de blocos, cortes, polimento e acabamentos finais (AGUIAR, 2007).

Na Figura 3 pode-se observar todo o processo de beneficiamento das rochas ornamentais organizado de acordo com as suas respectivas fases de execução.

Figura 3: Processo de Beneficiamento das Rochas Ornamentais.



Fonte: Autor, 2022.

4.2.2 Extração da Lavra e Beneficiamento

Para a extração dos blocos são usados fios diamantados, marteletes, explosivos e massas expansivas para retirada dos blocos (FRASCA, 2007).

Todavia, vale salientar que em todo este processo de extração no maciço, corte e beneficiamento da rocha há uma perda de cerca de 80% da matéria prima inicial (SUGIMOTO, 2017). Um dos vetores que auxiliam no volume deste excesso, é propriamente os resíduos de granulometria fina resultantes do abrasamento e cortes das rochas, oriundos de três fases do beneficiamento, como acentuam Santos, Destefani e Holanda (2013):

O beneficiamento das rochas ornamentais é constituído por três tipos distintos de processos: serragem em teares, serragem em talha-blocos e acabamento de superfície. O processo de serragem nos teares é auxiliado por uma polpa de água, cal e granalha, despejada continuamente sobre a carga, para otimização do corte e resfriamento das lâminas. Talha-blocos são equipamentos de serragem com discos diamantados, capacitados para

cortes de grande profundidade, cuja maior utilização é voltada para produtos padronizados (lajotas)[...]. Após a serragem, o passo seguinte do beneficiamento é o acabamento das chapas e outras peças, através de levigamento, polimento e lustro ou apicoamento e flameamento. O levigamento ou desbaste representa o afinamento das chapas, com a criação de superfícies planas e paralelas. O polimento produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos grãos minerais, criando uma superfície lisa, opaca e mais impermeável que a de uma face natural da mesma rocha. O lustro é aplicado no sentido de se imprimir brilho à superfície da chapa, produzido pelo espelhamento das faces dos cristais constituintes da rocha.

Durante a extração dos blocos das rochas naturais (Figura 4) estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ano de resíduos destas rochas. Sem um direcionamento correto, este pó é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais (FORMIGONI, 2006).

Figura 4: Extração de blocos de rochas ornamentais.



Fonte: Granitos Mario Figueiredo, 2018.

As explorações de jazidas de rochas ornamentais são realizadas através da combinação de diversas técnicas disponíveis, com o intuito de otimizar os ciclos produtivos, e os resultados econômicos e financeiros. Uma das primeiras etapas de beneficiamento das rochas ornamentais gera o resíduo que é denominado de lavra (REGADAS, 2006).

O beneficiamento das rochas ornamentais (Figura 5) divide-se em três etapas: desdobramento do bloco (serragem/corte do bloco em chapas), tratamento superficial das chapas por meio de levigamento, polimento e outros processos de acabamento e corte das chapas em peças de dimensões comerciais (AGUIAR, 2007).

Figura 5: Beneficiamento (Corte) da Rocha.



Fonte: Revista Globo Rural.

Após o processo de beneficiamento o pó das rochas é o principal resíduo gerado. Este pó é misturado com água e eventualmente outros acessórios na serragem das rochas, constituindo-se em um resíduo na forma de lama. A partir dos dados de perda no beneficiamento das rochas ornamentais, verifica-se que apenas no ano de 2013, no Brasil, foi gerado 2,06 milhões de toneladas de resíduo, deste total 1,02 milhões de toneladas de resíduo de granito, sendo 92.000 toneladas de lama apenas na fase de beneficiamento em marmorarias (KUMAYAMA *et al.*, 2015).

Na etapa de beneficiamento, principalmente nas operações de serragem, e corte das peças, é gerado um pó que juntamente com a água utilizada no processo, forma uma lama fluida com alto grau de turbidez.

Nessa fase ocorre a sedimentação das partículas e decantação do líquido, produzindo lodo em forma de lama de rochas. As partículas possuem granulometria reduzida e podem ser classificadas portanto como materiais finos (SAMUDIO *et al.*, 2017).

Após o beneficiamento, quase a totalidade dos casos, as empresas lançam seus resíduos, na forma semi-sólida (lama fluida), em locais inadequados, em tanques de acúmulo diretamente no solo sem a devida impermeabilização. Não há nenhum tipo de recirculação do líquido. Ocorre eliminação de parte da água contida no resíduo, através de evaporação e infiltração no solo, permanecendo a outra parte como umidade dos resíduos acumulados no solo a céu aberto (CALMON; SILVA, 2006).

Estes autores destacam, também, que os resíduos finos são auxiliares de problemas ambientais, quando destinados inadequadamente e estão relacionados ao assoreamento e a alteração da turbidez dos corpos d'água.

Neste contexto a reutilização desses resíduos gerados no processo de beneficiamento (serragem/corte), quando incorporados na produção dos blocos de gesso recicláveis, contribuirá sobremaneira para redução dos impactos ambientais decorrentes do seu descarte inadequado na natureza.

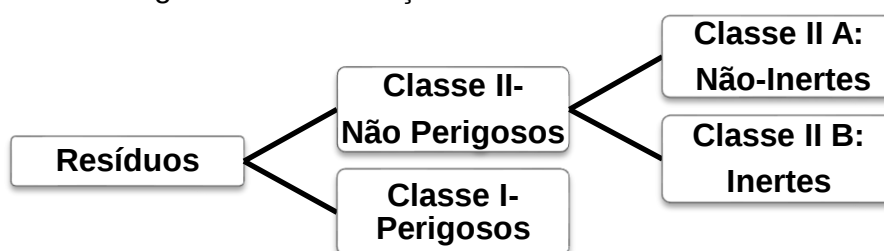
4.3 Classificação dos Resíduos

De acordo com a NBR 10004 (2004), define-se resíduo sólido como o material no estado semi-sólido ou sólido resultante das áreas das indústrias, de hospitais, de comércios e outras e acrescentam-se também nessa denominação alguns líquidos específicos que não devem ser lançados em esgotos ou corpos de água.

Em 2010 foi sancionada a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Essa lei visa principalmente a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, além de estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços; também trata como responsáveis todos os agentes envolvidos em todas as fases : fabricação, venda e consumo (BRASIL, 2010).

Esses resíduos sólidos são então divididos em classes conforme pode-se observar (Figura 6).

Figura 6: Classificação dos Resíduos Sólidos.



Fonte: NBR 10004:2004.

Os resíduos da classe I, definidos como perigosos, são aqueles que podem apresentar diretamente risco à saúde pública e ao meio ambiente, sendo, portanto, exigidos tratamentos prévios, correta disposição e descarte em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos pertencentes à classe II: Não Perigosos por sua vez são subdivididos em do tipo A: Não-Inertes e B: Inertes. Os resíduos Não-Inertes são aqueles que não apresentam grau de periculosidade, porém não são inertes, pois podem apresentar propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. São resíduos que apresentam características encontradas basicamente no lixo doméstico.

Já os resíduos do tipo B classificados como inertes são aqueles que ao serem submetidos aos ensaios de solubilização, de acordo com a NBR 10007 (2004), não apresentam nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores ao da água, ou seja, o resíduo mesmo após ter entrado em contato direto com a água não foi capaz de torná-la impotável.

4.3.1 Classificação dos Resíduos de Rochas Ornamentais

De acordo com pesquisas realizadas por BUZZI *et al.*, (2006) e BRAGA *et al.*, (2010), verifica-se que após análises laboratoriais as amostras de lama oriundas do beneficiamento de rochas ornamentais apresentaram resultados que classificaram as amostras como sendo do tipo pertencentes a classe II B: Inerte e outras pertentes ao subgrupo classe II A: Não-Inerte, em relação aos parâmetros observados, no que tange principalmente os níveis de Al, F-, Pb, Hg, Cl-, Cr, Fe e Mn.

Porém segundo estudos realizados por MANHÃES; HOLANDA (2008), as amostras foram compostas pelo resíduo que inicialmente foi coletado em forma de lama, seco em estufa e por fim peneirado até obter um pó fino. Após as análises das amostras o resíduo não constava na lista dos anexos A e B da norma NBR 10004 (2004), o resíduo então foi submetido a um ensaio de lixiviação que por fim veio a comprovar que o mesmo poderia ser classificado como um resíduo não perigoso.

As amostras do resíduo de rochas ornamentais e do gesso passaram também por ensaios de solubilização de acordo com as diretrizes preconizadas pela NBR 10006 (2004), encontrando-se valores superiores aos recomendados pela norma para o chumbo, cromo, ferro e manganês presentes no resíduo classificando-o dessa forma como resíduos do tipo não inerte.

4.4 Blocos de Gesso

Segundo a norma ABNT NBR 16494 (2017), os blocos de gesso podem ser definidos como componentes fabricados industrialmente compostos basicamente de gesso, com formato de paralelepípedo, podendo ser maciços ou vazados, possuindo duas faces planas e lisas, com encaixes macho e fêmea em lados opostos.

As principais propriedades segundo a NBR estudadas nos blocos de gesso para vedação vertical são: densidade, absorção de água, resistência à flexão e dureza.

A usabilidade de blocos de gesso para vedação vertical tem ganhado grande destaque com o passar dos anos, porém essa técnica construtiva ainda não se encontra tão difundida no mercado Brasileiro, tornando-se, portanto, o enfoque de diversos estudos a fim de se encontrar vantagens que justifiquem seu uso em larga escala e posterior substituição em relação às tecnologias consideradas tradicionais a exemplo das alvenarias em blocos de concreto e blocos cerâmicos.

Segundo LORDSLEEM, *et al*, (2012), algumas dessas vantagens já podem ser destacadas: maior área de piso, possibilidade de instalação sobre o piso final, paredes mais leves, menor sobrecarga nas estruturas e fundações, maior precisão dimensional e melhor conforto termo-acústico.

Além das inúmeras vantagens técnicas e econômicas relacionadas à utilização dos blocos de gesso pode-se inferir diretamente a sua notória relação com a sustentabilidade quando comparados a blocos cerâmicos tradicionais e a outras técnicas construtivas que geram um volume maior de resíduos sólidos em seu ciclo produtivo e demandam uma grande quantidade de energia no processo.

Um dos quesitos que tornam o gesso uma ótima alternativa para produção de blocos ecoeficientes é a possibilidade de incorporar resíduos no seu processo produtivo, tal processo ficou conhecido como logística reversa que se trata da

reutilização e/ou manejo de resíduos urbanos no ciclo produtivo. De acordo com estudos de MOTA (2017), este instrumento incentiva a reciclagem dos resíduos, promove a sua valorização e reduz o uso de recursos naturais.

Alguns estudos foram realizados ao longo dos anos visando observar a eficácia dos blocos de gesso em relação a outras tecnologias construtivas. De acordo com OLIVEIRA *et al.*, (2017), SOTO *et al.*, (2013), e PIRES (2009), os resultados obtidos após os ensaios realizados com blocos de gesso convencionais mostraram-se altamente significativos, segundo ainda (PIRES, 2009), tal fato ocorreu devido à alta eficácia mecânica das paredes erguidas com os blocos de gesso quando comparadas a paredes feitas de tijolos cerâmicos e blocos de concreto o que pode ser justificado pela sua alta capacidade de carga.

Atualmente existem um grande número de pesquisas sendo realizadas, com o intuito de aproveitar este material, de acordo com pesquisas realizadas observaram-se estudos relacionadas ao seu aproveitamento na produção de: cerâmica vermelha, cimento, argamassa, vidro, concreto, porcelanatos, revestimento e pisos.

A partir de buscas realizadas nas bases de dados foi possível concluir que o aproveitamento dos resíduos de rochas ornamentais na produção de blocos de gesso sustentáveis para vedação vertical trata-se de uma completa inovação tecnológica já que para essa finalidade não existem estudos em andamento até o presente momento.

5 METODOLOGIA

Para a realização do estudo proposto, todos os insumos que foram utilizados na fabricação dos blocos de gesso, passaram por ensaios e análises específicas de acordo com os critérios estabelecidos pelas Normas técnicas vigentes.

O procedimento experimental foi dividido em quatro etapas:

- **Etapa 1:** Coleta e aquisição dos materiais.
- **Etapa 2:** Caracterização do agregado (resíduo) e do aglomerante (gesso).
- **Etapa 3:** Produção dos blocos de gesso sustentáveis.
- **Etapa 4:** Caracterização física e análise da resistência à flexão dos blocos de gesso sustentáveis.

5.1 Caracterização do Resíduo de Rochas Ornamentais

5.1.1 Ensaios Físicos

Os resíduos de rochas ornamentais (pó) foram coletados em forma fluida em uma empresa (marmoraria) instalada no município de Juazeiro do Norte– Ceará. Logo após esse procedimento os rejeitos foram levados ao laboratório de Materiais de Construção Civil do Centro Universitário Paraíso- Juazeiro do Norte, onde se iniciou o processo de caracterização.

O material foi utilizado exatamente como coletado sem qualquer separação passando somente por um período de secagem natural, ao ar livre, e depois por 24 h na estufa em uma temperatura de 105 °C, para favorecer sua desagregação e posterior peneiramento (Figura 7).

Após a secagem o resíduo foi destorroado e peneirado. Para o processo de peneiramento utilizou-se um jogo de peneiras variando a abertura da malha (4,76mm – 0,074mm).

De acordo com a Tabela 3 pode-se observar os experimentos físicos realizados para o estudo do resíduo reciclado.

Tabela 3: Caracterização dos Resíduos de Rochas Ornamentais

Ensaio	Norma
Massa Específica	ABNT NBR 16605:2017
Análise Granulométrica	ABNT NBR NM 248:2003

Fonte: Autor, 2021.

Figura 7: Coleta e tratamento do resíduo de rochas ornamentais: material em forma de lama (a), material na estufa para secagem (b), material após secagem (c) e material em processo de destorroamento (d).



Fonte: Autor, 2021.

5.1.2 Início e Fim de Pega das Dosagens

Pega se refere à mudança de estado fluido para o rígido. A pega é causada principalmente pelas reações de hidratação e é acompanhada pela elevação da temperatura na pasta. O início de pega corresponde a uma rápida elevação e o fim de pega corresponde ao pico de temperatura (NEVILLE; BROOKS, 2013).

As amostras foram separadas de acordo com as dosagens analisadas no estudo (Figura 8). O ensaio foi realizado de acordo com os critérios estabelecidos segundo a (NBR 12128:2019), em temperatura de 24°C, utilizando o aparelho de VICAT.

Figura 8: Preparação das amostras.



Fonte: Autor, 2021.

Primeiramente foram preparadas as amostras de gesso acrescidas do resíduo nas devidas dosagens analisadas (5%, 10% e 15%), neste caso em substituição ao volume final do gesso utilizado na mistura.

Durante o processo de homogeneização da pasta, é adicionada uma quantidade de água ideal segundo os critérios da NBR 12128 (2019), visando dessa maneira se obter a consistência desejável, que por sua vez tem como finalidade determinar o período útil de trabalhabilidade do gesso acrescido com o resíduo, que em fins práticos trata-se do processo de aplicação, compreendido desde a mistura (gesso + resíduo) com a água até o seu processo de endurecimento.

O intervalo de tempo considerado é a partir do momento em que o gesso entra em contato com a água, até o instante que a agulha do aparelho de VICAT não mais penetra no fundo da amostra, ficando aproximadamente 1 mm acima da base, ou seja, o fim de pega foi caracterizado no período em que a agulha não penetrou mais a pasta.

5.1.3 Granulometria

A análise granulométrica visa quantificar a distribuição do tamanho das partículas de uma amostra de resíduo e tal aspecto é de fundamental importância para o entendimento de inúmeros parâmetros físicos relacionados as partículas, como: resistência e permeabilidade.

Para classificação granulométrica é amplamente utilizado o método das peneiras, que consiste basicamente na sobreposição de um jogo de peneiras variando a abertura da malha (4,76mm – 0,074mm).

Diferentemente do método de ensaio tradicional que é realizado a partir da utilização de um jogo de peneiras dispostas verticalmente e que consequentemente estão mais susceptíveis a erros de execução, a distribuição granulométrica por difração à laser proporciona a obtenção de distribuições rápidas e precisas referentes aos tamanhos das partículas e é baseada na análise do padrão de difração produzido quando as amostras são expostas a um feixe de luz monocromática.

Levando em consideração todas as informações mencionadas anteriormente é de extrema importância se conhecer com precisão a granulometria dos materiais estudados, visto que o tamanho das partículas apresenta influência direta em diversas outras propriedades, como: massa unitária, consistência, início e fim de pega e resistência mecânica. O método de caracterização granulométrica utilizado no estudo foi o a laser.

5.2 Caracterização do Gesso

O gesso utilizado no presente estudo foi obtido da distribuidora do polo gesseiro do Araripe, na cidade de Juazeiro do Norte-CE, com as seguintes características: produto em forma de pó branco, de elevada finura (equivalente ao cimento), boa plasticidade, pega (aderência) e endurecimento rápido, além de possuir pequeno poder de retração na secagem e estabilidade volumétrica que garantem um excelente desempenho quando aplicados na construção civil, como por exemplo, aglomerante na fabricação de blocos ou aplicação como revestimento de paredes.

Para tal componente foram realizados os ensaios demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização do gesso.

Ensaio	Norma Regulamentadora
Massa Específica	ABNT NBR 16605:2017
Propriedades Físicas do Gesso	ABNT NBR NM 12128:2019

Fonte: Autor, 2021

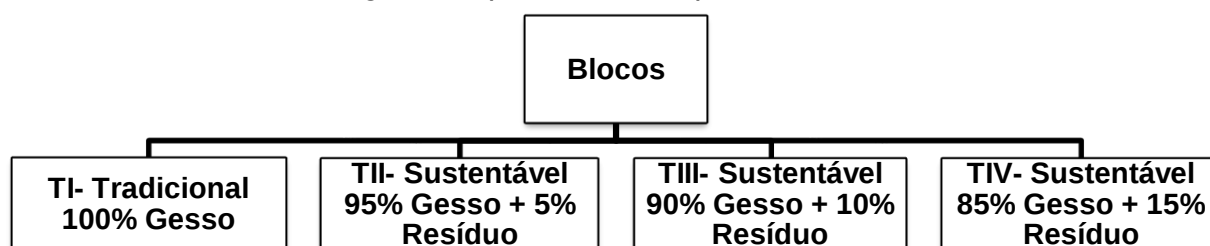
Para realização de todos os ensaios para caracterização do gesso foram utilizadas as metodologias de execução descritas nas normas técnicas, facilitando e assegurando dessa forma todo o seu processo de caracterização.

5.3 Blocos de Gesso Sustentáveis

5.3.1 Produção

Para realização deste trabalho foram produzidos 30 blocos de gessos tradicionais sem nenhum tipo de incorporação (T-I), onde foram utilizados 11 kg de gesso e 12,5 litros de água, fator água/aglomerante de 0,88, para tal. A partir destes, mais 30 blocos (por dosagem) foram produzidos, sendo respectivamente, T-II, T-III e T-IV, substituindo o gesso pelo resíduo de rochas ornamentais nas proporções de 5%, 10% e 15%, em relação a sua massa, como demonstrado na Figura 9.

Figura 9: Tipos de blocos produzidos.



Fonte: Autor, 2021.

Os blocos foram moldados em uma fábrica especializada neste segmento, localizada no município de Juazeiro do Norte - CE. Para a produção da argamassa de gesso utilizada nas peças, foi inserido água na argamassadeira mecânica, onde o gesso foi pesado e adicionado a este equipamento, sendo misturado em torno de 4 minutos, até se obter uma pasta uniforme (Figura 10).

Figura 10: Preparação da Mistura.



Fonte: Autor, 2021.

Após esses procedimentos a pasta é lançada em uma fôrma paralelepipedal para moldagem dos blocos com as dimensões de 66,6cm x 45,5cm x 7,5cm (Figura 11).

Figura 11: Moldagem dos Blocos.



Fonte: Autor, 2021.

Depois do processo de moldagem os blocos foram desenformados e passaram por um processo de secagem natural.

5.4 Caracterização dos Blocos Sustentáveis

Os blocos sustentáveis foram comparados com o bloco tradicional em relação as seguintes propriedades: absorção de água, densidade, dureza e resistência na flexão. Todos os ensaios foram realizados seguindo os critérios estabelecidos na norma ABNT NBR 16495 (2016): Bloco de gesso para vedação vertical – Método de ensaio.

5.4.1 Capacidade de Absorção dos Blocos

Para o ensaio de capacidade de absorção os blocos foram submersos em um reservatório com água de modo que sua face inferior não entrou em contato com o fundo do reservatório e sua face superior estava submersa com uma lâmina de água de (5 ± 1) cm.

Os blocos permaneceram 120 min em imersão, conforme critério estabelecido segundo a NBR 16495 (2016).

A expressão dos resultados da capacidade de absorção é dada pela seguinte expressão:

$$A_b = \frac{(M_4 - M_3) * 100}{M_3}$$

Em que:

A_b é a absorção de água, expressa em porcentagem (em %);

M_3 é a massa do bloco, expressa em quilogramas (em kg);

M_4 é a massa obtida após imersão do bloco por 120 minutos, expressa em quilogramas (em kg).

Antes de se iniciar o ensaio de absorção, foi realizado o fechamento de todos os alvéolos contidos nos blocos (de acordo com as recomendações exigidas pela norma) com uma espuma expansiva (produto selante adesivo elástico à base de poliuretano) que é resistente contra a ação climática e possui secagem rápida - em torno de dez minutos - a espuma foi aplicada nos orifícios preenchendo, portanto, todos os vazios.

Antes da aplicação todos os alvéolos foram limpos e livres de qualquer resíduo, foram necessários cerca de seis tubos para completa vedação de todos os 24 blocos de gesso utilizados durante a execução do ensaio.

No decorrer do ensaio foram utilizados corpos de prova com a única função de exercer peso sobre os blocos de gesso no tanque com água com o intuito de garantir a sua total submersão.

Nas Figuras 12, 13 e 14 pode-se observar a execução das etapas descritas anteriormente.

Figura 12: Preenchimento dos vazios com espuma expansiva.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 13: Determinação do peso dos blocos.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 14: Imersão dos Blocos.



Fonte: Autor, 2021.

5.4.2 Densidade dos Blocos

A densidade do bloco foi determinada dividindo-se sua massa (M) pelo seu volume total (V_t), sendo o resultado dado em kg/m^3 .

Os blocos foram colocados na balança para obtenção da massa (M), expressa em quilogramas (kg).

A determinação do volume do bloco foi calculada a partir da seguinte equação:

$$V_t = E_m * C_m * A_m$$

Em que:

V_t é o volume total do bloco, expresso em metros cúbicos (m^3);

E_m é a espessura média, expressa em metros (m);

C_m é o comprimento médio, expresso em metros (m);

A_m é a altura média, expressa em metros (m).

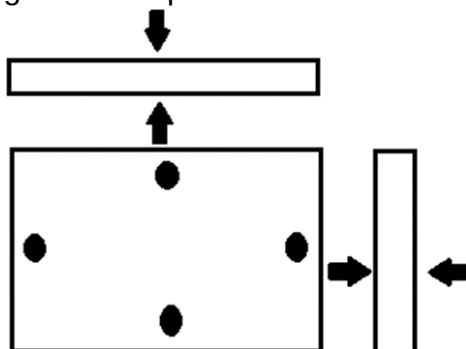
Para se calcular a densidade dos blocos foi necessário aferir todos os valores correspondentes as medidas dos 24 blocos ensaiados. De acordo com a ABNT NBR 16495 (2016) pode-se obter esses valores das maneiras apresentadas a seguir.

5.4.2.1 Determinação da espessura do bloco

A espessura do bloco foi determinada a partir da média aritmética das medidas das espessuras das quatro arestas.

As medidas das espessuras foram tomadas no centro conforme indicado na Figura 15.

Figura 15: Espessura dos Blocos.



Fonte: NBR 16495 (2016).

A espessura foi expressa em milímetros, resultante da média aritmética de quatro medidas efetuadas por bloco, sendo:

$$E_m = \frac{(E_1 + E_2 + E_3 + E_4)}{4}$$

Em que:

E_m : é a espessura média, expressa em milímetros (mm);

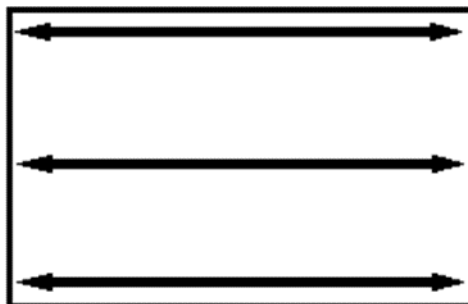
E_1, E_2, E_3 e E_4 são as espessuras medidas nas quatro arestas.

5.4.2.2 Determinação do comprimento do bloco

O comprimento do bloco foi determinado a partir da média aritmética de três medidas efetuadas sobre uma das faces lisas na direção da maior dimensão, conforme demonstrado na Figura 16.

A primeira medida é efetuada passando no centro da superfície e as outras duas paralelas à primeira, a 5,0 cm das bordas.

Figura 16: Comprimento dos Blocos.



Fonte: NBR 16495 (2016).

O comprimento foi expresso em milímetros (mm), resultante da média aritmética de três medidas efetuadas por bloco.

$$C_m = \frac{(C_1 + C_2 + C_3)}{3}$$

Em que:

C_m é o comprimento médio, expresso em milímetros (mm);

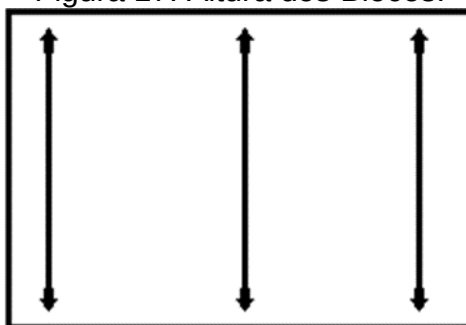
C_1 , C_2 e C_3 são os comprimentos medidos na face lisa do bloco.

5.4.2.3 Determinação da altura do bloco

A altura do bloco foi determinada a partir da média aritmética de três medidas efetuadas sobre uma das faces lisas na direção da menor dimensão, conforme demonstrada na Figura 17.

A primeira medida é efetuada passando no centro da superfície e as outras medidas paralelas à primeira, a 5,0 cm das bordas.

Figura 17: Altura dos Blocos.



Fonte: ABNT NBR 16495:2016.

A altura foi expressa em milímetros (mm), resultante da média aritmética de três medidas efetuadas por bloco.

$$A_m = \frac{(A_1 + A_2 + A_3)}{3}$$

Em que:

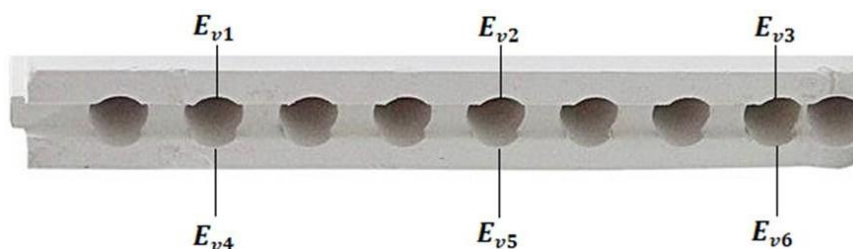
A_m é a altura média, expressa em milímetros (mm).

A_1, A_2 e A_3 são as alturas medidas na face lisa do bloco.

5.4.3 Medida da espessura da superfície do vazado

A norma técnica vigente exige que a espessura da superfície do vazado seja levada em consideração no cálculo da densidade, portanto, foram aferidas as medidas em três furos, conforme demonstrado na Figura 18. A espessura da superfície do vazado deve ser expressa em milímetros (mm).

Figura 18: Espessura da Superfície do Vazado.



Fonte: Autor, 2021.

5.4.4 Determinação da Densidade dos Blocos

A densidade do bloco foi determinada dividindo-se sua massa (M) pelo seu volume total (V_t), sendo o resultado expresso em kg/m^3 .

Os blocos foram colocados na balança para obtenção da massa (M), expressa em quilogramas (kg).

A determinação do volume do bloco foi calculada a partir da equação seguinte:

$$V_t = E_m * C_m * A_m$$

Em que:

V_t é o volume total do bloco, expresso em metros cúbicos (m^3);

E_m é a espessura média, expressa em metros (m);

C_m é o comprimento médio, expresso em metros (m);

A_m é a altura média, expressa em metros (m).

5.4.5 Dureza

Para determinação da dureza dos blocos foram realizadas seis medidas por face em locais alternados, resultando em um total de doze medidas por bloco e dosagem analisada.

O aparelho utilizado nas medições foi o durômetro Shore C, conforme especificado na ABNT NBR 16495 (2016).

O durômetro é um instrumento exclusivo, utilizado para medir a dureza de materiais. O processo de manuseio do instrumento é bastante simples, sendo o material submetido a uma pressão definida aplicada através de uma mola calibrada, onde o valor da dureza é dado pela profundidade da penetração no material analisado.

A dureza superficial é a média aritmética dos valores encontrados para cada bloco, expressa em unidade Shore C (u.s.c). Na Figura 19 pode-se observar a execução do ensaio.

Figura 19: Determinação da Dureza do Bloco.



Fonte: Autor, 2021.

5.4.6 Resistência à flexão

Para o ensaio de resistência à flexão os blocos maciços foram cortados no sentido do comprimento e sem apresentar encaixes conforme preconizado pela ABNT NBR 16495 (2016).

Os blocos vazados foram cortados no sentido paralelo aos vazios e sem apresentar encaixes, de modo que o corpo de prova apresentou dois furos. O corte longitudinal foi realizado no sentido de obter-se a maior espessura do furo para a realização do ensaio.

Durante a realização do ensaio de flexão, o corpo de prova foi disposto horizontalmente sobre os cutelos de apoio e o cutelo superior foi posicionado no centro do corpo de prova.

Gradativamente foi-se ocorrendo o acréscimo de carga até se atingir a ruptura dos blocos.

O módulo de resistência à flexão para blocos maciços é determinado pela seguinte fórmula:

$$R_f = \frac{(3 * P * L * H)}{[2 * (b * H^3 - d^4)]}$$

Em que:

R_f é o módulo de resistência à flexão, expressa em Mega Pascal (MPa);

P é a carga de ruptura registrada na prensa, expressa em Newton (N);

L é a distância entre os eixos dos cutelos inferiores (L=250mm);

H é a altura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

b é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d é o diâmetro dos vazios, expressa em milímetros (mm).

Na Figura 20 pode-se observar o método de ensaio empregado na determinação da resistência à flexão, onde o bloco encontra-se disposto entre os cutelos de apoio .

Figura 20: Resistência à flexão dos blocos.



Fonte: Autor, 2021.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

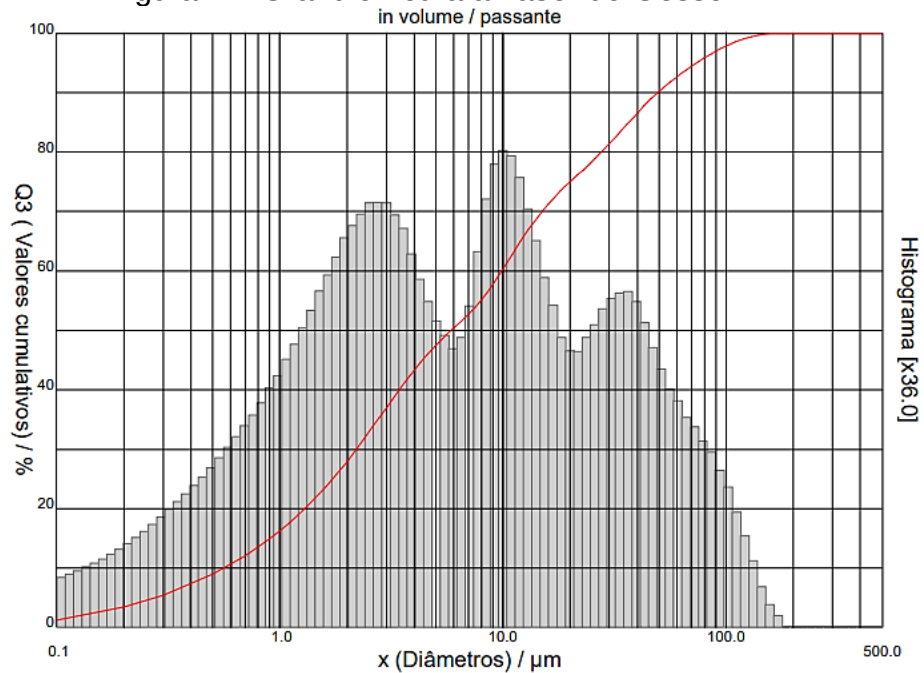
Neste capítulo serão abordados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios de todas as propriedades anteriormente apresentadas. Os dados serão divididos em dois grupos: Resultado da caracterização do gesso e do resíduo de rochas ornamentais e a Análise da resistência à flexão dos blocos de gesso.

6.1 Caracterização Física do Gesso e do Resíduo de Rochas Ornamentais

6.1.1 Granulometria a Laser

Com relação ao gesso a partir dos resultados obtidos no ensaio de granulometria a laser pode-se inferir que o diâmetro médio das partículas analisadas na amostra é de 16,86 μm . De acordo com a Figura 21 observa-se a distribuição granulométrica do gesso gerada a partir do ensaio.

Figura 21: Granulometria a Laser do Gesso.

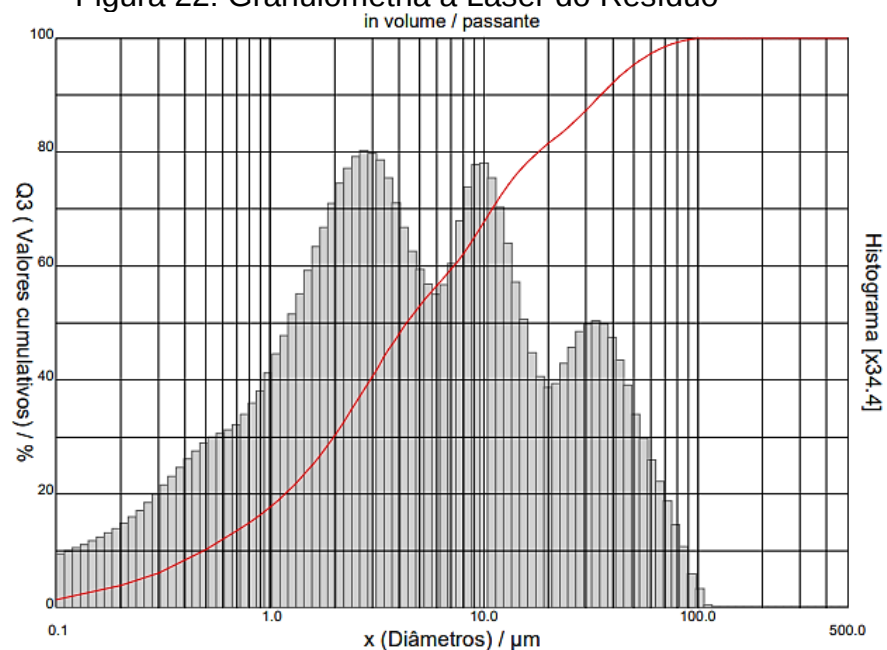


Fonte: Autor, 2022.

Já o resíduo de rochas ornamentais apresentou um diâmetro médio das partículas de aproximadamente 11,66 μm . Através da Figura 22 observa-se a distribuição granulométrica do resíduo reciclado.

O módulo de finura do gesso e do resíduo de rochas ornamentais foram na ordem de 0,72 e 0,52 respectivamente.

Figura 22: Granulometria a Laser do Resíduo



Fonte: Autor, 2022.

6.1.2 Início e fim de Pega

O método de ensaio foi realizado segundo as orientações fundamentadas na ABNT NBR 12128 (2019). Primeiramente se produziu uma pasta gesso com uma consistência que permitisse a sua trabalhabilidade, ou seja, a quantidade de água adicionada a mistura ideal para manuseá-la.

O início e o fim de pega é uma propriedade de fundamental importância, pois tem como finalidade determinar o período útil (início e fim) que se tem para proceder o processo de aplicação de um determinado material, ou seja, é o intervalo de tempo compreendido desde a mistura da água com o gesso até o seu endurecimento ou acabamento final.

O tempo de início e fim de pega foi analisado para todas as dosagens estudadas (TI- 100% gesso, TII- 5% resíduo + 95% gesso, TIII- 10% resíduo + 90% gesso e TIV- 15% resíduo + 85% gesso). Abaixo pode-se observar os resultados do ensaio (vide tabela 5).

Tabela 5: Ensaio de Tempo de Pega

Dosagem	Início de Pega (min)	Fim de Pega (min)
TI	8	15
TII	10	18
TIII	14	22
TIV	16	26

Fonte: Autor, 2021.

Ao final do experimento constatou-se que o início de pega do gesso sem incorporação do resíduo de rochas ornamentais ocorre com aproximadamente 8 minutos e o fim de pega acontece por volta dos 15 minutos em contato com a água.

Após a incorporação do resíduo de rochas ornamentais nas dosagens de TII, TIII e TIV, se constatou um retardo no início e no fim de pega da pasta de gesso.

O retardo no tempo de pega das amostras de gesso com a presença do resíduo sustentável é explicado devido ao fato do resíduo de rochas ornamentais ser inerte o que por sua vez corrobora com as interfaces formadas pelos materiais presentes na composição e impede que as reações químicas da mistura aconteçam rapidamente,

influenciando, portanto, na trabalhabilidade da mistura e aumentando assim o seu tempo de maleabilidade e usabilidade.

6.2 Blocos de Gesso Sustentáveis

6.2.1 Capacidade de Absorção de Água dos Blocos

Com relação a capacidade de absorção de água dos blocos pode-se observar de acordo com a Tabela 6, uma diminuição da absorção dos blocos sustentáveis em relação ao bloco tradicional.

Tabela 6: Absorção de Água dos Blocos

Traço	Absorção (%)
TI	57,96 ± 0,54
TII	56,76 ± 0,10
TIII	55,45 ± 0,12
TIV	50,67 ± 0,20

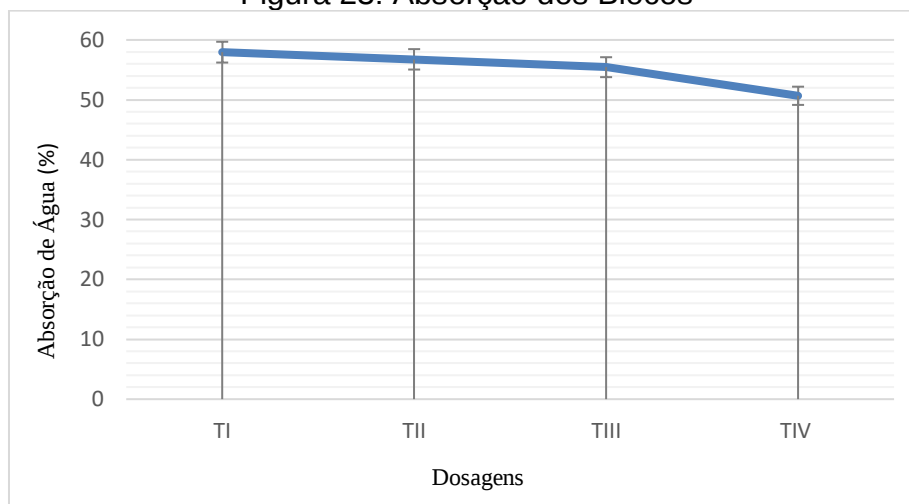
Fonte: Autor, 2021.

Verifica-se que quanto maior a substituição do resíduo sustentável, menor é a absorção de água dos blocos convencionais.

Todos os blocos sustentáveis obtiveram redução de absorção de água em relação ao bloco tradicional. Os valores de redução foram de respectivamente, 2,07%, 4,33% e 12,57%, para os blocos TII, TIII e TIV, vide Figura 23.

Esse fenômeno se justifica devido ao fato de que os materiais utilizados na produção dos blocos sustentáveis (gesso e resíduo) possuem granulometrias distintas, o que por sua vez colaborou para o preenchimento dos vazios que existiam entre as partículas de gesso, que ocorreu, portanto, através da inserção dos resíduos de rochas ornamentais na mistura. Tal fato corroborou com a redução da capacidade de absorção de água dos blocos sustentáveis.

Figura 23: Absorção dos Blocos



Fonte: Autor, 2021.

6.2.2 Densidade dos Blocos

De acordo com a Tabela 7 e a Figura 24, observa-se que quanto maior a substituição do resíduo de rochas ornamentais, maior será a densidade do bloco. Tal fator está diretamente relacionado a maior compactação da pasta oriunda do processo de preenchimento dos vazios entre as partículas de gesso devido a inserção do resíduo reciclado nas devidas proporções.

O acréscimo das densidades nos traços II, III e IV foi na ordem de 1,69%, 1,89% e 2,18%, em comparação ao bloco I (tradicional). Foram ensaiados 6 blocos de gesso para cada dosagem analisada.

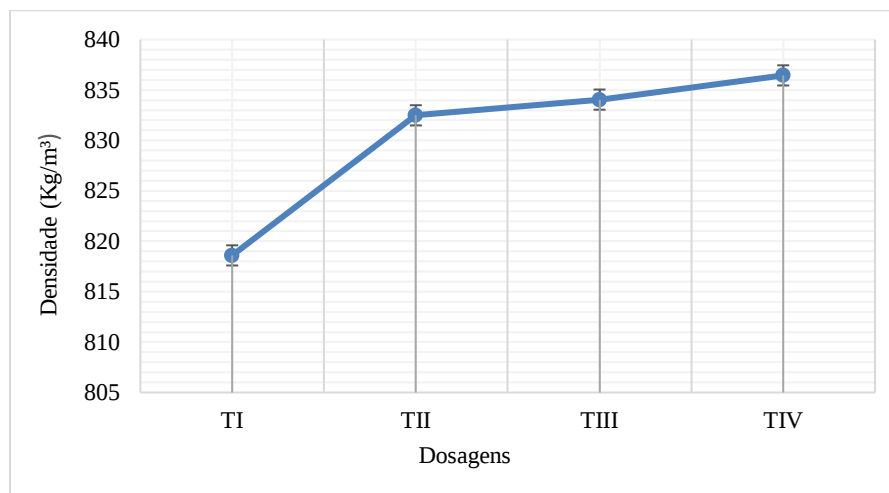
Todos os blocos são classificados como sendo de densidade média e de cor branca, por possuírem valores entre 800 kg/m³ e 1.100 kg/m³, segundo critérios especificados na ABNT NBR 16494 (2017) - Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos.

Tabela 7: Massa Específica dos Blocos

Traço	Densidade (Kg/m ³)
TI	818,60 ± 1,08
TII	832,49 ± 2,31
TIII	834,05 ± 2,77
TIV	836,45 ± 2,99

Fonte: Autor, 2021.

Figura 24: Densidade dos Blocos.



Fonte: Autor, 2021.

6.2.3 Resistência à Flexão dos Blocos

Os blocos sustentáveis (TII, TIII e TIV), obtiveram acréscimos de, 18,21%, 30,25% e 39,20% em relação ao bloco convencional (TI), vide Tabela 8 e Figura 25.

O aumento da densidade colaborou diretamente para potencializar o comportamento mecânico dos blocos sustentáveis com relação a sua resistência à flexão. Foram ensaiados 12 blocos de gesso para cada dosagem analisada.

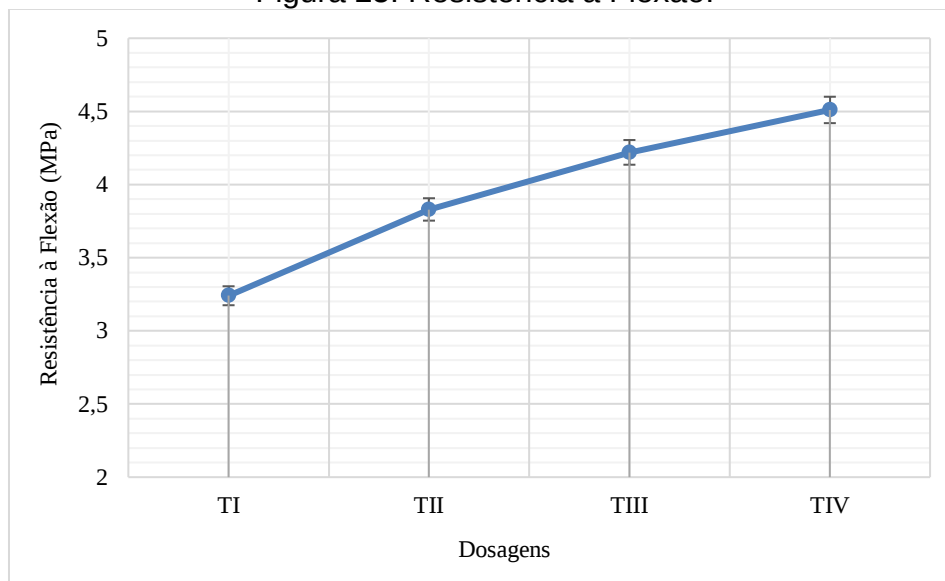
Tal fator ocorreu provavelmente devido ao fato do resíduo de rochas ornamentais ser mais pulverulento que o gesso, agindo portanto como um *fíler* e contribuindo dessa forma na compacidade do conjunto, influenciando portanto no comportamento mecânico do bloco. Na Figura 26 os vazios deixados pelas partículas de gesso (cor cinza) são preenchidas pelas partículas do resíduo de rochas ornamentais (cor azul).

Tabela 8: Resistência à Flexão.

Traço	Resistência (MPa)
TI	3,24 ± 0,25
TII	3,83 ± 0,11
TIII	4,22 ± 0,17
TIV	4,51 ± 0,20

Fonte: Autor, 2021.

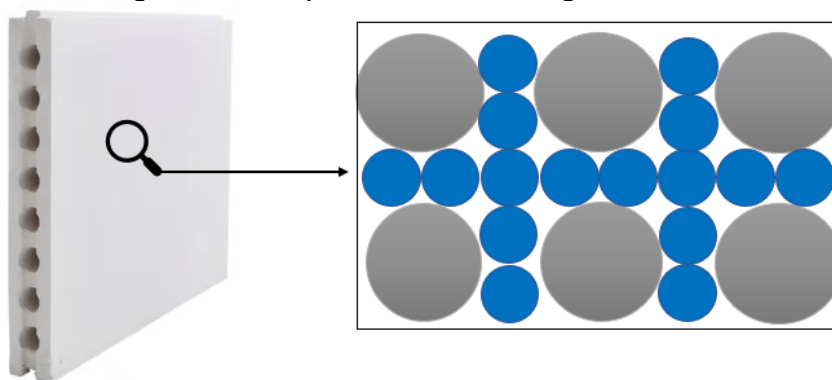
Figura 25: Resistência à Flexão.



Fonte: Autor, 2021.

Tanto os blocos convencionais (TI) como os sustentáveis (TII, TIII e TIV), enquadram-se na classe de espessuras de 50 e com relação à sua forma e espessura dos alvéolos são classificados como pertencentes a classe 70 com formato cônico, por possuírem resistências maiores que 1,2 MPa, segundo os critérios descritos na ABNT NBR 16494 (2017) - Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos.

Figura 26: Empacotamento dos grãos.



Fonte: Autor, 2022.

6.2.4 Dureza dos Blocos

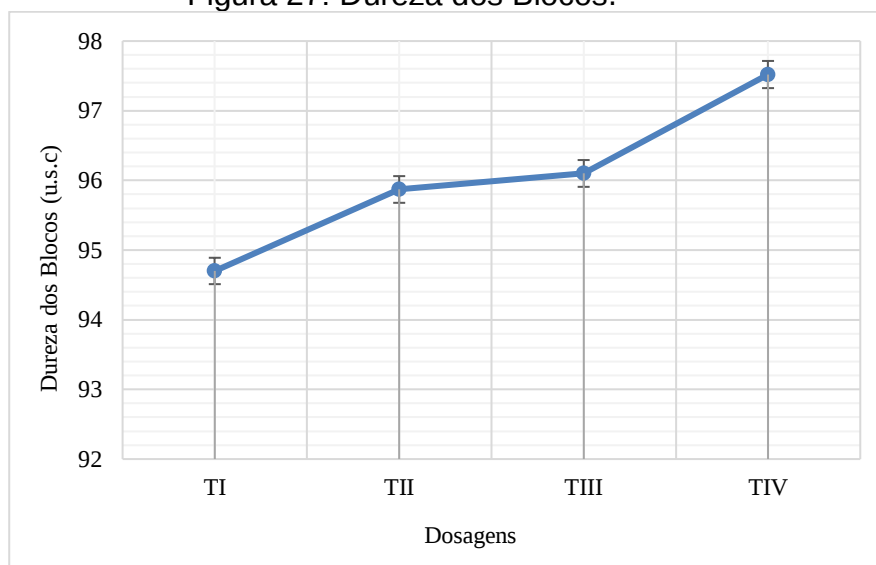
Em comparação ao bloco tradicional, ou seja, com 100% de gesso na sua composição (TI), os blocos sustentáveis (TII, TIII e TIV) apresentaram ganhos na sua dureza final, respectivamente nas proporções de 1,23%, 1,48% e 2,98%, vide Tabela 9 e Figura 27.

Tabela 9: Dureza dos Blocos

Traço	Dureza (u.s.c)
TI	$94,70 \pm 0,94$
TII	$95,87 \pm 0,61$
TIII	$96,10 \pm 0,41$
TIV	$97,52 \pm 0,45$

Fonte: Autor, 2021.

Figura 27: Dureza dos Blocos.



Fonte: Autor, 2021.

Como o resíduo de rochas ornemanteis é constituido basicamente por feldspato e quartzo cuja dureza na escala de mohs é de respectivamente 6 e 7, a incoporação do resíduo na matriz do bloco colaborou diretamente para que houvesse uma elevação na dureza dos blocos de gesso produzidos com a incorporação do pó de rochas.

Conforme critérios da ABNT NBR 16494 (2017)- Bloco de gesso para vedação vertical – Requisitos, os blocos analisados são de alta dureza por apresentarem resultados maiores que 80 unidades Shore C (u.s.c.).

7 CONCLUSÃO

A incorporação do resíduo reciclado na produção dos blocos sustentáveis contribuiu para a melhoria de todas as propriedades estudadas.

Pode-se concluir que a adição do resíduo reciclado no processo produtivo dos blocos promoveu uma diminuição significativa na capacidade de absorção de água do traço TIV (15% resíduo de rochas ornamentais) em comparação ao bloco tradicional (TI) (Apêndice A).

Em relação as demais propriedades analisadas pode-se inferir que houveram aumentos consideráveis na dureza, densidade e na resistência mecânica dos blocos sustentáveis (TII , TIII e TIV) quando comparados ao bloco tradicional (TI) sem adição do resíduo reciclado (Apêndice A).

Tais melhorias nas propriedades analisadas podem ser justificadas devido ao fato do resíduo de rochas ornamentais ser extremamente fino o que acabou por vir a agir como um *filler* preenchendo os vazios existentes entre as partículas de gesso nos blocos e favorecendo portanto para que houvesse um maior empacotamento dos grãos (Apêndice B).

Portanto, após o presente estudo, conclui-se que a utilização do resíduo de rochas ornamentais tem grande potencial para ser inserido na fabricação de blocos de gesso, mitigando os diversos impactos ambientais provocados pela geração de tais resíduos e garantindo, assim, uma destinação mais adequada e sustentável para tais.

8 SUGESTÕES FUTURAS

Para trabalhos futuros utilizando os blocos de gesso sustentáveis produzidos a partir deste estudo ficam as seguintes sugestões:

- Analisar novas dosagens de adição do resíduo reciclado na produção dos blocos de gesso;
- Produção de um protótipo de edificação utilizando os blocos de gesso sustentáveis para vedação vertical para execução da alvenaria;
- Analisar a durabilidade dos blocos de gesso sustentáveis frente as variadas solicitações como: força do vento, ação da chuva e a insolação;
- Analisar o conforto térmico da edificação;
- Analisar a acústica da edificação sustentável.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS. **Síntese das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais de Janeiro a Setembro de 2020– Informe 03/2020**. Belo Horizonte/MG.

ANM. **Agência Nacional de Mineração**. Sumário mineral 2018. Brasília: ANM, 2020.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012** – Rochas para revestimentos de edificações - Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação: Rio de Janeiro, 2004.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Procedimento para Obtenção de Extrato Solubilizado de Resíduos sólidos: Rio de Janeiro, 2004.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.127**: Gesso para Construção - Determinação das propriedades físicas do pó: Rio de Janeiro, 2017.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16494**: Bloco de gesso para vedação vertical — Requisitos: Rio de Janeiro, 2017.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16495**: Bloco de gesso para vedação vertical – Método de ensaio: Rio de Janeiro, 2016.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15012**: Rochas para Revestimentos de Edificações – Terminologia: Rio de Janeiro, 2013.

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

AGUIAR, L. R. **Avaliação da ecoeficiência de programas e projetos ambientais voltados às micros e pequenas empresas do pólo gesseiro do Araripe, estado de Pernambuco**. 2007. 156 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão e Políticas Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

ALENCAR, Carlos Rubens Araujo; INSTITUTO EUVALDO LODI (Espírito santo). **Manual de Caracterização, Aplicação, Uso e Manutenção das Principais Rochas Comerciais no Espírito Santo**. 1. ed. Cachoeiro de Itapemirim - ES: Link Editoração, 2013. 244 p. Disponível em: <https://www.sindirochas.com/arquivos/manual-rochas.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

ARAUJO, Luana Freire; DE FARIAS, Bruno Matos. **EMPREGABILIDADE DO GESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Eptaya E-books, v. 1, n. 1, p. 89-108, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS – ABIROCHAS. Disponível em: <https://abirochas.com.br/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Gipsita. IN: **Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2005. p. 505-526.

BARBOSA, A., FERRAZ, A. V., SANTOS, G. A., “Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso β obtido do pólo do Araripe”, **Cerâmica**, v. 60, n. 356, pp. 501-508, ago. 2014.

BEZERRA, M. S., **Gipsita Relatório Técnico**, Brasília, Ministério de Minas e Energia – MME, 2009.

BRAGA, Florindo dos Santos; BUZZI, Daniella Cardoso; COUTO, Maria Cláudia Lima; LANGE, Liséte Celina. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 237-244, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522010000300006>.

LANGE, Liséte Celina. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Alegre, v. 15, n. 3, p. 237-244, set. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/4jDJNsqZp6HcFS9G5T5LPcK/?lang=pt&format=pdf#:~:text=As%20lamas%20de%20beneficiamento%20de,dos%20insumos%2C%20entre%20outros%20fatores>. Acesso em: 16 abr. 2022.

BRASIL, **Lei 12.305** de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Brasília, Diário Oficial da União – DOU, 2010.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. **Polo Gesseiro do Araripe discute o desenvolvimento do setor.** 2017. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Polo-Gesseiro-do-Araripe-discute-o-desenvolvimento-do-setor-4664.html>. Acesso em: 05 mar. 2022.

BUZZI, D.C. et al. (2006) **Caracterização segundo a NBR 10004/2004 de resíduos gerados no beneficiamento de granitos.** In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 8, Anais... Fortaleza, ABES. CD-ROM

CALMON, J.L; SILVA, S.A.C. (2006) **Mármore e Granito no Espírito Santo: Problemas Ambientais e Soluções.** In: Domingues, A.F.; Boson, P.H.G.; Alípaz, S. **A gestão de recursos hídricos e a mineração.** Brasília: Agência Nacional das Águas-ANA, Instituto Brasileiro de Mineração-IBRAM, 2006. Pág. 199-231.

CANUT, Mariana Moreira Cavalcanti. **ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DO RESÍDUO FOSFOGESSO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO.** 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ISMS-6X6R77/1/disserta__o_final1.pdf. Acesso em: 12 abr. 2022.

CAVALCANTI, L. F. M., OLIVEIRA, F. M. C., MELO, E. B., et al., “Granito Azul Sucuru: caracterização tecnológica por meio do aproveitamento do material”, **Revista Principia**, n. 33 pp. 11-20, Mai. 2017.

CETEM. **Beneficiamento de Rochas Ornamentais.** 2014. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/1736/1/CCL00050014_CAPITULO_07_opt.pdf. Acesso em: 13 maio 2022.

DE ARAUJO, T. C. B.; DOURADO, H. Avaliação de Desempenho de Paver's Intertravado Produzidos com Rejeitos Gerados nos Desdobramentos de Rochas Ornamentais. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 15, n. 2, p. 245–261, 2020. DOI: 10.5216/reec.v15i2.60435. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/60435>. Acesso em: 31 mar. 2022.

ECOBRAIL. **Arquitetura Sustentável**. 2022. Disponível em: <http://www.ecobrasil.eco.br/30-restrito/categoria-conceitos/1098-arquitetura-sustentavel>. Acesso em: 10 maio 2022.

FONSECA FILHO, Henrique Duarte da; LOPES, Gerson Anderson de Carvalho. Avanços em caracterização de amostras sólidas cristalinas através de Difractometria de Raios-x. **Unifap**, Macapá, v. 3, n. 1, p. 31-45, jun. 2013. Disponível em: <https://periodicos.unifap.br/index.php/estacao/article/download/1127/henriquev3n1.pdf>. Acesso em: 03 maio 2022.

FRASCÁ, M. H. B. O. Rocha como Material de Construção. In: **IBRACON** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. 2ª ed. São Paulo: G.C.Isaia, 2010 v.1 p. 439 – 480.

FORMIGONI, et. al. **Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais**. 2006. Disponível em: <http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2022.

GAZQUES, M. J., BOLIVAR, J. P., VACA, F., et al., “Evaluation of the use of TiO₂ industry red gypsum waste in cement production”, **Cement & Concrete Composites**, v. 37, pp. 76-81, Mar. 2013.

GRANITOS MARIO FIGUEIREDO (**GMF,Lda**), 2018. Disponível em: <http://www.granitosmariofigueiredo.com/extracao.php>. Acesso em: 17 mar. 2021.

GUIA TÉCNICO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 2015. Disponível em: http://www.feam.br/images/stories/2015/producao_susatentavel/guiastecnicos-ambientais/guia-rochas.pdf. Acesso em: 31 de mar. 2022.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério; ISAIA, Geraldo Cechella. Concreto de cimento Portland. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: **IBRACON**, v. 2, p. 905-944, 2007.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. In: ISAIA, G. C. Materiais de construção civil. São Paulo: **Ibracon**, 2007. p. 727-760.

KUMAYAMA, R., ALCANTARA, M. A. M., CRUZ, W. S., et al., “Estudo da viabilidade do emprego de pó de mármore para produção de concreto autoadensável e substituição parcial dos agregados por pérolas de poliestireno expandido (EPS)”, **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 10, n. 5, pp. 56-71, Set. 2015.

KURESKI, Ricardo; RODRIGUES, Rossana Lott; MORETTO, Antônio Carlos; SESSO FILHO, Umberto Antonio; HARDT, Letícia Peret Antunes. O macrossetor da construção civil na economia brasileira em 2004. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 7-19, mar. 2008. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3791/2187>. Acesso em: 07 mar. 2022.

LIMA, Monalisa Toledo de. **Influência da Incorporação de gesso e fosfogesso no tempo de pega do cimento Portland**. Universidade Federal da Paraíba. 2019.

LIRA, C. P. L., AMARAL, A. J. R., DANTAS, J. O. C., et al., Gipsita, **Balanço Mineral Brasileiro**, Brasília, DNPM/PE, 2015

LORDSLEEM JUNIOR, A. C.; NEVES, M. L. R. **Tecnologia de Construção de Particionamento Interno de Blocos de Gesso**. In: Alvenaria Internacional de Tijolos e Blocos Conferência, 15., Florianópolis, 2012. Procedimentos. São Carlos: UFSCar, 2012.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. D. et al. Balanço Mineral Brasileiro 2001. In: LYRA SOBRINHO, A. C. P. D., et al. **Gipsita**. Brasília: Anm, 2001. p. 23.

MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. (2008) Caracterização e classificação de resíduo sólido de “pó de rocha granítica” gerado na indústria de rochas ornamentais. **Química Nova**, vol. 31, nº. 6, 1301-1304p.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades, e Materiais** 3º ed. São Paulo: Pini. 2008 p. 259-287.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Relatório Técnico 33 – Perfil de rochas ornamentais e de revestimento – 2009**.

MIRANDA, Paulo ST et al. Utilização de pó de rocha cariri em concreto autoadensável. **CONSTRUÇÃO** 2018, v. 6, 2018.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não Metálicos**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos/anuario-estatistico-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos-2020-ano-base-2019.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2022.

MONTEIRO, Aline Gomes de Sousa et al. **Desenvolvimento de aditivo plastificante e retardador de pega para gesso a partir da mucilagem da palma forrageira**. Universidade Federal de Ouro Preto. 2015.

MOTA, M. **Reciclagem e Reutilização de Materiais Recicláveis**. 2017. **Agência Portuguesa do Meio Ambiente**. Seminário Quercus. 2017. Disponível em: http://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2017/03/apa_apa-mr.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**-5ª Edição. Bookman Editora, 2015.

NEVILLE, Adam; Brooks, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Editora Bookman – 2013.

NOBREGA, AKC et al. Caracterização do Resíduo de Pó de Rocha Ornamental Adicionado à Argamassa em Substituição Parcial ao Cimento. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 13172-13179, 2015.

OLIVEIRA, Ana Martha Carneiro Pires de; ANDRADE, Rodrigo Val. O USO DE RESÍDUOS DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA COMPOSIÇÃO DE TIJOLOS CERÂMICOS. **Journal of Open Research**, v. 1, n. 3, p. e24-e24, 2020.

OLIVEIRA, F., BORGES, L., MELO, E., BARROS, M., “Características Mineralógicas e Cristalográficas da Gipsita do Araripe”, **HOLOS**, a. 28, v. 5, pp. 71-82, nov.2012.

OLIVEIRA, R. A. et al. Edificações em Alvenaria Resistente na Região Metropolitana do Recife. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 175-199, abr./jun. 2017.

ONOFRE, S. B.; ABATTI, D.; REFOSCO, D.; FOQUESATTO, C. F.; SILVA, M. **Utilização de resíduos de mármore e granitos na produção de argamassas e resíduos da construção e demolição na produção de concretos**. In: 10º

SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2016, Porto Alegre/RS.

PEREIRA, R. R. **Incorporação do Fosfogesso como substituto do Gesso Natural no processo de fabrico do Cimento Portland**. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. 2010.

PIRES SOBRINHO, C. W. A. **Vedações Verticais em Alvenaria de Blocos de Gesso para Estruturas Aporticadas de Concreto Armado: projeto, execução e desempenho**. Recife, 2009. Documento técnico.

POLO GESSEIRO DO ARARIPE, 2018. Disponível em: <http://fundacaoararipe.org.br/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

PONTES, I., STELLIN Junior, A. (2001). **Utilização de finos de serrarias do Espírito Santo nas Indústrias de Construção Civil**. In: Jornadas Ibermac. “ **Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción**”. Programa Cyted, Madri/Espanha.

PADILHA NETO, Lucas Gomes. **Desenvolvimento de Metodologia para Reciclagem do Resíduo de Gesso gerado nas Práticas de Processos Inorgânicos Experimentais**. Projeto de Final de Curso (Graduação em química industrial) - UFRJ, Rio de Janeiro - RJ, 2019. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12507/1/LGPadilhaNeto.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2022.

REGADAS, I. C. M. C. **Aspectos relacionados às lavras de granitos ornamentais com fio diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo**, Brasil. 2006. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo/SP.

REVISTA GLOBO RURAL, 2010. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/GloboRural/foto/0,,43084848,00.jpg>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SAMUDIO, E. M. M.; DOURADO, F. F. M.; BETTIOL, D. A. A. OLIVEIRA, B. M.; SILVA, Y. A.; REIS, R. A. Gestão de Resíduos no beneficiamento de rochas ornamentais: O caso das Marmorarias. **Revista Caleidoscópio**. Eniac de publicação internacional de Iniciação Científica, v.1, n. 9. 2017 p. 15-21. Disponível em:

<https://ojs.eniac.com.br/index.php/Anais/article/view/450/529>. Acesso em: 19 mar. 2021.

SANTOS, Max M. Aguiar; DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 18, p. 1442-1450, 2013.

SILVA, Victor Valério Landim da. **Análise da viabilidade técnica da reutilização de resíduos de rochas ornamentais na fabricação de blocos de gesso sustentáveis**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.

SINDUSGESSO- **Sindicato das Indústrias de Extração e Beneficiamento de Gipsita, Calcários, Derivados de Gesso e de Minerais Não-Metálicos do Estado de Pernambuco**, Informações Técnicas, Recife, 2016.

SINDIROCHAS (Espírito Santo). **Espírito Santo Coloca o Brasil Entre os Maiores Países em Produção e Exportação de Mármore e Granito**. [S. l.], 11 jan. 2019. Disponível em: <https://www.sindirochas.com/noticias/-espírito-santo-coloca-o-brasil-entre-os-maiores-paises-em-producao-e-exportacao-de-marmore-e-granito.html>. Acesso em: 22 mar. 2022.

SOTO, I. I.; RAMALHO, M. A.; IZQUIERDO, O. S. Comportamento pós-quebramento de blocos, prismas e pequenas paredes de concreto reforçadas com fibra vegetal. **Ibracon**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 1-15, ago. 2013.

SOUSA, J. G. **Análise ambiental do processo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim - Es**. 2007. Especialização em Análise Ambiental – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais/MG.

SUGIMOTO, Luiz. **O que fazer com os resíduos das rochas ornamentais?** 1. ed. Campinas: Jornal da UNICAMP, 24 abr. 2017. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/index.php/ju/noticias/2017/04/24/o-que-fazer-com-os-residuos-das-rochas-ornamentais>. Acesso em: 30 mar. 2022.

TESKE, S., GONÇALVES, P. F. A., NAGALLI, A., “Development of a conceptual model of an ecologic tile using building gypsums waste”, **Ceramics**, v. 61, n.358.

WINGE, Manfredo et al. **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil: volume III.** 2013.

APÊNDICE A

MEMORIAL DE CÁLCULO E REFINAMENTO ESTATÍSTICO: DADOS DOS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.

Tabela 10: Massa Específica dos Blocos.

Densidade (Kg/m³)				
Número da Amostra	Traço I	Traço II	Traço III	Traço IV
1	817,9	833,87	831,09	837,07
2	819,02	834,12	834,02	836,14
3	819,68	828,11	832	842,09
4	816,77	834,19	834,04	834,22
5	819,15	832,45	839,08	834,06
6	819,2	832,2	834,09	835,12
Média				
Valor	818,6	832,49	834,05	836,45
Desvio				
Número da Amostra	Traço I	Traço II	Traço III	Traço IV
1	-0,7200	1,3800	-2,9633	0,6200
2	0,4000	1,6300	-0,0333	-0,3100
3	1,0600	-4,3800	-2,0533	5,6400
4	-1,8500	1,7000	-0,0133	-2,2300
5	0,5300	-0,0400	5,0267	-2,3900
6	0,5800	-0,2900	0,0367	-1,3300
Quadrado dos Desvios				
1	0,51840	1,90440	8,78134	0,38440
2	0,16000	2,65690	0,00111	0,09610
3	1,12360	19,18440	4,21618	31,80960
4	3,42250	2,89000	0,00018	4,97290
5	0,28090	0,00160	25,26738	5,71210
6	0,33640	0,08410	0,00134	1,76890
Variância Amostral				
Valor	1,16836	5,34428	7,653506667	8,9488
Desvio Padrão Amostral				
Valor	1,08	2,31	2,77	2,99

Fonte: Autor,2022.

Tabela 11: Capacidade de Absorção de Água dos Blocos.

Absorção de Água (%)				
Número da Amostra	Traço I	Traço II	Traço III	Traço IV
1	56,99	56,65	55,41	50,97
2	58,18	56,89	55,37	50,81
3	57,86	56,72	55,69	50,7
4	58,6	56,87	55,43	50,62
5	57,98	56,68	55,36	50,53
6	58,12	56,74	55,42	50,4
Média				
Valor	57,96	56,76	55,45	50,67
Desvio				
Número da Amostra	Traço I	Traço II	Traço III	Traço IV
1	-0,97	-0,11	-0,04	0,30
2	0,22	0,13	-0,08	0,14
3	-0,10	-0,04	0,24	0,03
4	0,64	0,11	-0,02	-0,05
5	0,02	-0,08	-0,09	-0,14
6	0,16	-0,02	-0,03	-0,27
Quadrado dos Desvios				
1	0,93123	0,01174	0,00134	0,08900
2	0,05062	0,01734	0,00588	0,01914
3	0,00903	0,00147	0,05921	0,00080
4	0,41602	0,01247	0,00028	0,00267
5	0,00062	0,00614	0,00751	0,02007
6	0,02722	0,00034	0,00071	0,07380
Variância Amostral				
Valor	0,28695	0,00990	0,01499	0,04110
Desvio Padrão Amostral				
Valor	0,54	0,10	0,12	0,20

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 12: Análise da Dureza dos Blocos.

Dureza- Unidade Shore C (u.s.c)				
Número da Amostra	Traço I (u.s.c)	Traço II (u.s.c)	Traço III (u.s.c)	Traço IV (u.s.c)
1	93,36	95,18	95,56	98,04
2	94,01	95,79	95,74	97,67
3	96,05	96,14	96,21	97,75
4	94,65	95,16	96,36	97,73
5	94,96	96,33	96,07	96,91
6	95,19	96,64	96,68	97,03
Média				
Valor	94,70	95,87	96,10	97,52
Desvio				
Número da Amostra	Traço I (u.s.c)	Traço II (u.s.c)	Traço III (u.s.c)	Traço IV (u.s.c)
1	-1,34	-0,69	-0,54	0,52
2	-0,69	-0,08	-0,36	0,15
3	1,35	0,27	0,11	0,23
4	-0,05	-0,71	0,26	0,21
5	0,26	0,46	-0,03	-0,61
6	0,49	0,77	0,58	-0,49
Quadrado dos Desvios				
1	1,8045	0,4807	0,2952	0,2687
2	0,4807	0,0069	0,1320	0,0220
3	1,8135	0,0711	0,0114	0,0521
4	0,0028	0,5088	0,0659	0,0434
5	0,0659	0,2085	0,0011	0,3741
6	0,2368	0,5878	0,3325	0,2417
Variância Amostral				
Valor	0,880866667	0,372786667	0,1676	0,200416667
Desvio Padrão Amostral				
Valor	0,94	0,61	0,41	0,45

Fonte: Autor,2022.

Tabela 13: Análise da Resistência à Flexão dos Blocos.

Resistência à Flexão				
Número da Amostra	Traço I (Mpa)	Traço II (Mpa)	Traço III (Mpa)	Traço IV (Mpa)
1	3,66	3,87	4,12	4,65
2	3,26	3,72	4,21	4,48
3	3,72	3,69	4,37	4,58
4	3,32	3,89	4,52	4,63
5	2,97	3,73	3,99	4,26
6	3,09	4,01	4,27	4,36
7	3,15	3,91	4,03	4,51
8	3,22	3,77	4,31	4,39
9	3,03	3,84	4,39	5,01
10	2,94	3,76	3,95	4,4
11	3,34	3,79	4,26	4,47
12	3,19	3,99	4,25	4,35
Média				
Valor	3,24	3,83	4,22	4,51
Desvio				
Número da Amostra	Traço I (Mpa)	Traço II (Mpa)	Traço III (Mpa)	Traço IV (Mpa)
1	0,4192	0,0392	-0,1025	0,1425
2	0,0192	-0,1108	-0,0125	-0,0275
3	0,4792	-0,1408	0,1475	0,0725
4	0,0792	0,0592	0,2975	0,1225
5	-0,2708	-0,1008	-0,2325	-0,2475
6	-0,1508	0,1792	0,0475	-0,1475
7	-0,0908	0,0792	-0,1925	0,0025
8	-0,0208	-0,0608	0,0875	-0,1175
9	-0,2108	0,0092	0,1675	0,5025
10	-0,3008	-0,0708	-0,2725	-0,1075
11	0,0992	-0,0408	0,0375	-0,0375
12	-0,0508	0,1592	0,0275	-0,1575
Quadrado dos Desvios				
1	0,1757	0,0015	0,0105	0,0203
2	0,0004	0,0123	0,0002	0,0008
3	0,2296	0,0198	0,0218	0,0053
4	0,0063	0,0035	0,0885	0,0150
5	0,0734	0,0102	0,0541	0,0613
6	0,0228	0,0321	0,0023	0,0218
7	0,0083	0,0063	0,0371	0,0000
8	0,0004	0,0037	0,0077	0,0138
9	0,0445	0,0001	0,0281	0,2525
10	0,0905	0,0050	0,0743	0,0116
11	0,0098	0,0017	0,0014	0,0014
12	0,0026	0,0253	0,0008	0,0248
Variância Amostral				
Valor	0,06037197	0,011044697	0,029675	0,038947727
Desvio Padrão Amostral				
Valor	0,25	0,11	0,17	0,20

Fonte: Autor, 2022.

APÊNDICE B

RESULTADOS DO ENSAIO DE GRANULOTERIA A LASER DO RESÍDUO
RECICLADO E DO GESSO.

Ref da amostra : 0091221
 Sample Name : RESÍDUOS
 Sample type : PÓ
 Comentários : RESIDUO PEDRAS ORNA

Operador : MEYSON
 Empresa : UFPB
 Localização : João Pessoa - PB
 Data : 22/12/2021 Hora : 16:52:39
 Índice med. : 2444
 Database name : CilasDB1

Pressão/Distribuição : 2500 mb / [55][55]

Obscuration : 10 %

Diâmetro a 10% : 0.49 μm

Diâmetro a 50% : 4.35 μm

Diâmetro a 90% : 35.24 μm

Diâmetro médio : 11.66 μm

Fraunhofer -----

Densidade/Fator -----

Superfície específica -----

Medida./Limp. : 15s/5s/0

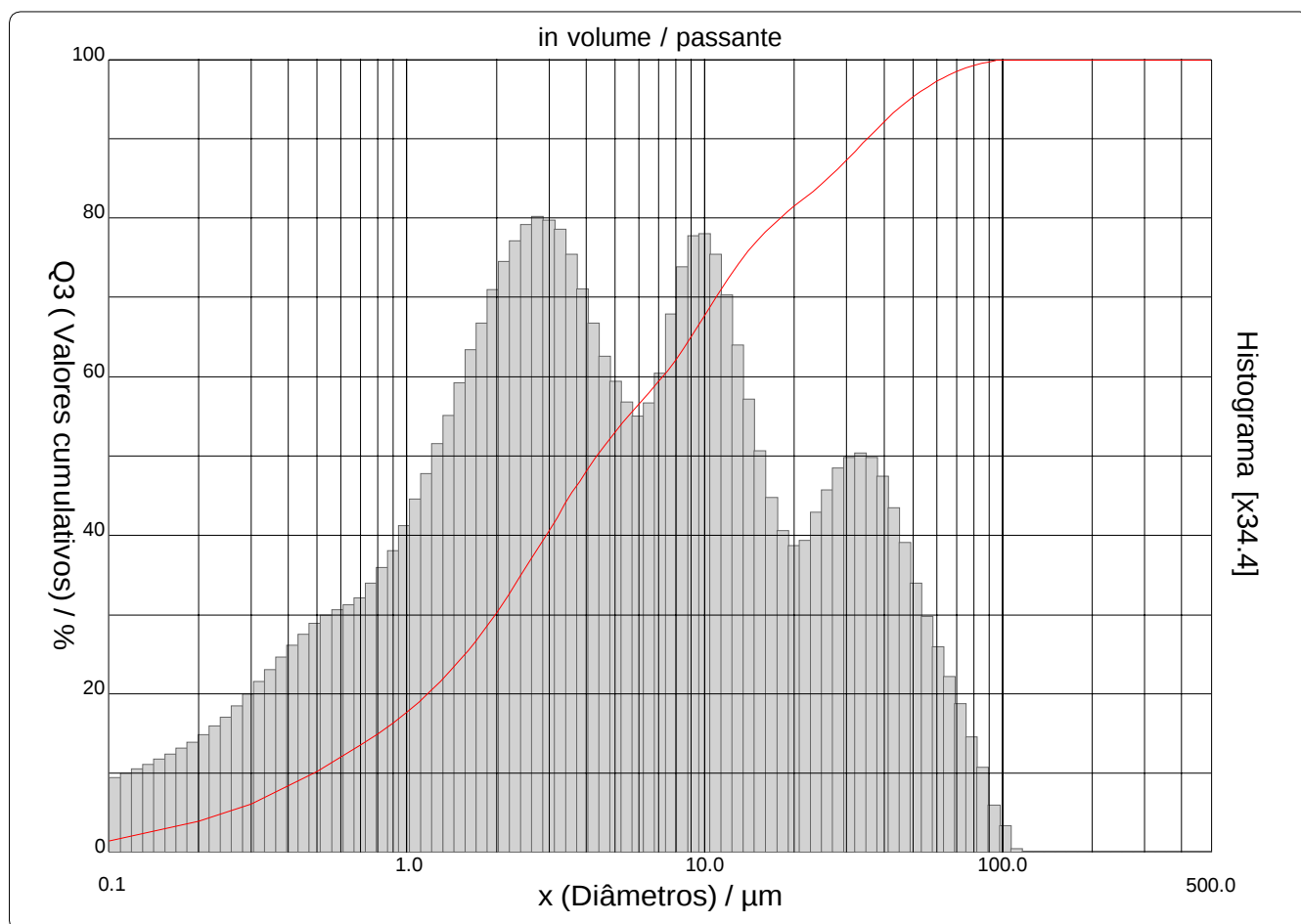
SOP name : quasi

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

x	80.00	100.0	150.0	180.0	200.0	325.0	400.0
Q3	99.23	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / μm Q3 : valor cumulativo / % q3 : density distribution



Ref da amostra : 0091221
 Sample Name : RESÍDUOS
 Sample type : PÓ
 Comentários : RESIDUO PEDRAS ORNA

Operador : MEYSON
 Empresa : UFPB
 Localização : João Pessoa - PB
 Data : 22/12/2021 Hora : 16:52:39
 Índice med. : 2444
 Database name : CilasDB1

Pressão/Distribuição : 2500 mb / [55][55]
 Obscuration : 10 %
 Diâmetro a 10% : 0.49 μm
 Diâmetro a 50% : 4.35 μm
 Diâmetro a 90% : 35.24 μm
 Diâmetro médio : 11.66 μm

Fraunhofer
 Densidade/Fator : -----
 Superfície específica : -----

Medida./Limp. : 15s/5s/0
 SOP name : quasi

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
Q3	1.49	3.99	6.15	10.17	13.54	14.98	16.36	17.69	19.01	20.32
q3	0.09	0.29	0.43	0.63	0.80	0.87	0.94	1.01	1.11	1.21
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	21.61	22.89	24.15	25.40	26.63	27.85	30.21	32.50	34.69	36.77
q3	1.29	1.39	1.47	1.56	1.63	1.71	1.80	1.93	2.02	2.09
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	38.74	40.59	42.31	43.92	45.41	46.78	48.04	49.73	51.23	52.98
q3	2.13	2.15	2.14	2.13	2.09	2.03	1.97	1.88	1.79	1.69
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	54.15	55.22	56.52	57.99	59.39	60.76	62.14	63.57	64.98	67.71
q3	1.61	1.56	1.51	1.47	1.52	1.59	1.72	1.89	1.98	2.08
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	70.19	72.36	74.21	75.78	77.11	78.24	79.21	80.05	80.79	81.47
q3	2.09	2.00	1.86	1.70	1.55	1.41	1.28	1.18	1.10	1.06
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	82.40	83.28	84.17	85.04	86.19	87.31	88.38	89.40	90.36	91.26
q3	1.03	1.05	1.13	1.18	1.25	1.30	1.33	1.35	1.35	1.34
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	92.10	93.22	94.19	95.28	95.96	96.54	97.21	97.64	98.01	98.44
q3	1.32	1.24	1.16	1.05	0.94	0.85	0.78	0.71	0.64	0.59
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	98.89	99.23	99.50	99.70	99.83	99.91	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.52	0.42	0.36	0.28	0.19	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / μm Q3 : valor cumulativo / % q3 : density distribution

Ref da amostra : 0101221
 Sample Name : GESSO
 Sample type : PÓ
 Comentários : GESSO

 Operador : MEYSON
 Empresa : UFPB
 Localização : João Pessoa - PB
 Data : 22/12/2021 Hora : 16:56:49
 Índice med. : 2445
 Database name : CilasDB1

Pressão/Distribuição : 2500 mb / [55][55]

Obscuration : 13 %

Diâmetro a 10% : 0.56 μm

Diâmetro a 50% : 5.85 μm

Diâmetro a 90% : 49.44 μm

Diâmetro médio : 16.86 μm

Fraunhofer

Densidade/Fator : -----

Superfície específica : -----

Medida./Limp. : 15s/5s/0

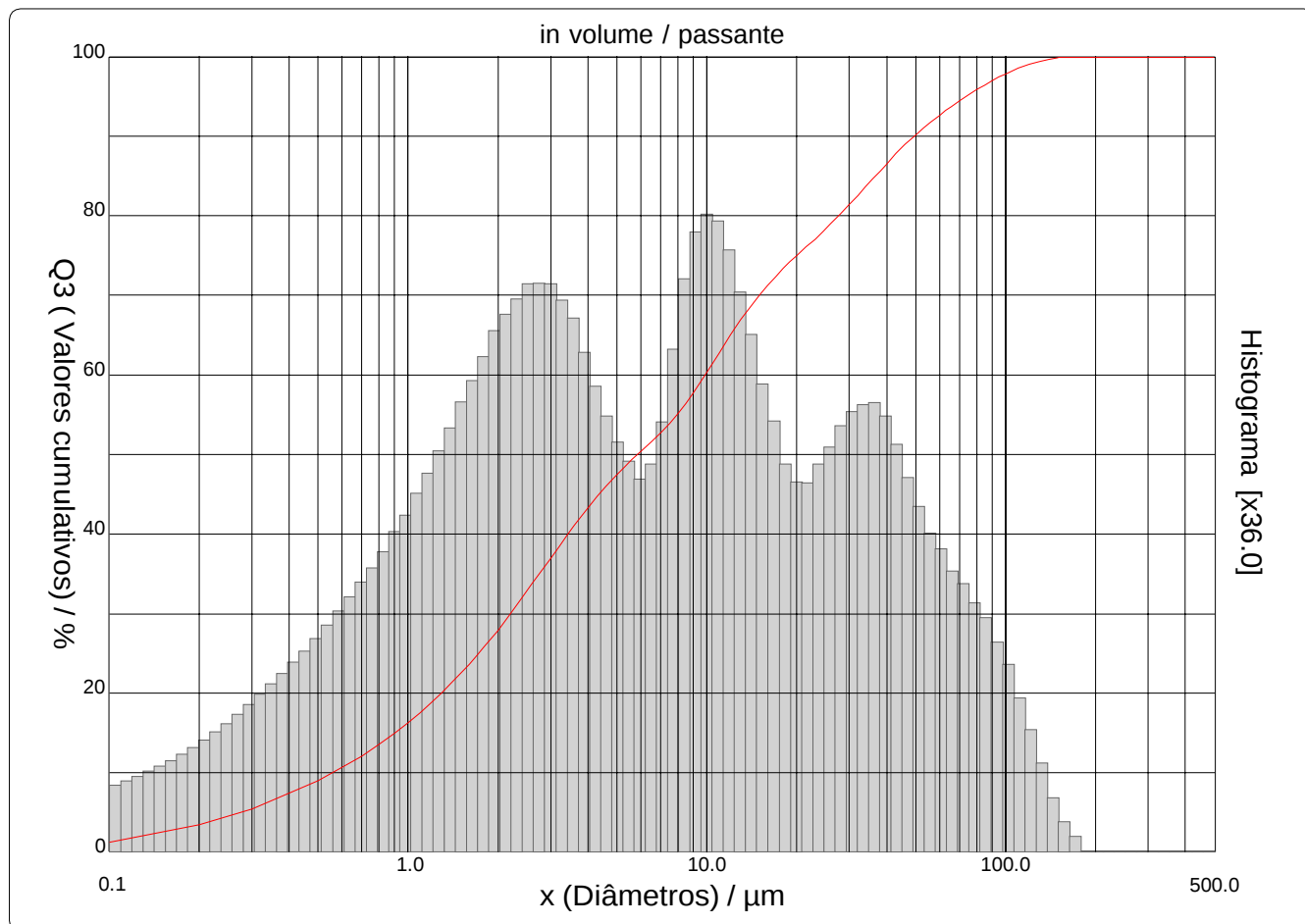
SOP name : quasi

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

x	80.00	100.0	150.0	180.0	200.0	325.0	400.0
Q3	95.83	97.85	99.83	100.00	100.00	100.00	100.00

x : diâmetro / μm Q3 : valor cumulativo / % q3 : density distribution



Ref da amostra : 0101221
 Sample Name : GESSO
 Sample type : PÓ
 Comentários : GESSO

 Operador : MEYSON
 Empresa : UFPB
 Localização : João Pessoa - PB
 Data : 22/12/2021 Hora : 16:56:49
 Índice med. : 2445
 Database name : CilasDB1

Pressão/Distribuição : 2500 mb / [55][55]
 Obscuration : 13 %
 Diâmetro a 10% : 0.56 μm
 Diâmetro a 50% : 5.85 μm
 Diâmetro a 90% : 49.44 μm
 Diâmetro médio : 16.86 μm
 Fraunhofer -----
 Densidade/Fator -----
 Superfície específica -----
 Medida./Limp. : 15s/5s/0
 SOP name : quasi

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
Q3	1.27	3.46	5.42	8.96	12.10	13.56	14.95	16.30	17.60	18.87
q3	0.07	0.25	0.38	0.55	0.73	0.86	0.93	1.01	1.07	1.15
x	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60
Q3	20.10	21.30	22.47	23.62	24.74	25.83	27.94	29.96	31.86	33.66
q3	1.21	1.27	1.33	1.40	1.45	1.50	1.58	1.67	1.72	1.77
x	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30	4.60	5.00
Q3	35.36	36.94	38.42	39.79	41.05	42.22	43.29	44.72	45.98	47.45
q3	1.81	1.80	1.81	1.78	1.74	1.70	1.64	1.56	1.47	1.39
x	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	10.00
Q3	48.43	49.31	50.39	51.59	52.74	53.91	55.11	56.41	57.73	60.35
q3	1.32	1.26	1.23	1.18	1.22	1.33	1.46	1.69	1.82	1.96
x	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00
Q3	62.80	65.00	66.92	68.58	70.03	71.28	72.38	73.36	74.21	75.00
q3	2.02	1.99	1.89	1.76	1.65	1.52	1.43	1.35	1.24	1.21
x	21.50	23.00	24.50	26.00	28.00	30.00	32.00	34.00	36.00	38.00
Q3	76.07	77.07	78.04	78.99	80.21	81.40	82.54	83.63	84.66	85.64
q3	1.16	1.17	1.21	1.26	1.30	1.36	1.39	1.42	1.42	1.43
x	40.00	43.00	46.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00	66.00	70.00
Q3	86.56	87.81	88.91	90.17	90.99	91.73	92.60	93.20	93.75	94.41
q3	1.41	1.36	1.28	1.19	1.11	1.06	0.99	0.97	0.93	0.88
x	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	110.0	120.0	130.0	140.0
Q3	95.16	95.83	96.42	96.96	97.43	97.85	98.55	99.06	99.43	99.68
q3	0.86	0.82	0.77	0.74	0.68	0.64	0.58	0.46	0.36	0.27
x	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	210.0	220.0	240.0	260.0
Q3	99.83	99.92	99.97	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.17	0.11	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
x	280.0	300.0	330.0	360.0	400.0	430.0	460.0	470.0	490.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / μm Q3 : valor cumulativo / % q3 : density distribution