

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

GALDINO JOSÉ DO VALE JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO TIJOLO ECOLÓGICO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELO RESÍDUO DE CORTE DE
ROCHAS ORNAMENTAIS**

Cajazeiras
2022

GALDINO JOSÉ DO VALE JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO TIJOLO ECOLÓGICO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELO RESÍDUO DE CORTE DE
ROCHAS ORNAMENTAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Gastão Coelho de Aquino Filho.

Cajazeiras
2022

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Suellen Conceição Ribeiro CRB-2218

V149a Vale Júnior, Galdino José do

Avaliação de propriedades do tijolo ecológico com substituição parcial do cimento pelo resíduo de corte de rochas ornamentais / Galdino José do Vale Júnior. – Cajazeiras/PB: IFPB, 2022.

70f.:il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB, Campus Cajazeiras. Cajazeiras, 2022.

Orientador(a): Prof. Gastão Coelho de Aquino Filho.

1. Construção civil. 2. Resíduos. 3. Cimento. 4. Tijolo. 5. Sustentabilidade.

I. Vale Júnior, Galdino José do. II. Título.

CDU: 69 V149a

GALDINO JOSÉ DO VALE JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DO TIJOLO ECOLÓGICO COM
SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PELO RESÍDUO DE CORTE DE
ROCHAS ORNAMENTAIS**

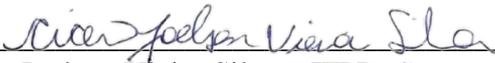
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
Campus Cajazeiras, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 06 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 GASTÃO COELHO DE AQUINO FILHO
Data: 29/09/2022 16:26:43-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador


Cicero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 DANIEL TORRES FILHO
Data: 29/09/2022 12:03:36-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Daniel Torres Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 2

Dedico este trabalho ao meu avô, Honório, *in memoriam*, que também sonhou com a finalização dessa etapa, mas não pode ver o fim dessa trajetória, bem como meu primo, Marcus Vinícius, *in memoriam*, que foi como um irmão mais velho, seguiram até onde foi permitido e serão levados juntos para sempre.

AGRADECIMENTOS

Sem a permissão de Deus o início dessa trajetória não seria possível, tão pouco a conclusão da mesma com esse trabalho, por isso, primeiramente gratidão a ele.

Aos meus pais, Lourdite e Galdino, pelo cuidado, paciência, confiança, incentivo e apoio nessa jornada.

Ao meu orientador Gastão Coelho de Aquino Filho, que também se tornou um amigo, pela ótima orientação, pela paciência frente aos erros, e a coragem e empatia em assumir a responsabilidade por um trabalho que não teve início com ele, e ainda assim colocando total esforço e empenho pelo resultado e qualidade.

Aos professores Robson Arruda e Daniel Torres, pelas importantes e ótimas contribuições para o desenvolvimento desse trabalho. Grandes profissionais que os tenho como referência.

Aos amigos e colegas de faculdade, Emanuel, Iarley, Jocicleudo, Kael, Rodrigo, Evilly, Jimmy, João Victor, Conceição, Moacir e Rayssa, aos conterrâneos Marcelo e Lucas que também são como irmãos, e demais que não foram citados aqui.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras pelo acolhimento e disponibilidade do uso do espaço, bem como as pessoas que cuidam do mesmo, em especial o técnico de laboratório e também amigo, José Neto, pela parceria e apoio com os trabalhos em laboratórios.

A todos minha imensa gratidão.

RESUMO

A indústria da construção civil possui grande influência no desenvolvimento de uma sociedade, tanto de forma econômica por gerar emprego e renda, quanto no meio ambiental, por gerar excessivos impactos. A exploração de recursos naturais seja para uso direto da construção ou como insumo na indústria transformadora, são clássicos exemplos de mudanças no meio ambiente. Assim, é inevitável que se tenha geração de resíduos, tanto nas obras quanto na exploração e beneficiamento de alguns materiais. Mesmo assim, a construção não pode estacionar, e a solução para o problema é tentar o equilíbrio e a minimização dos impactos. Diante disso, este trabalho levantou a hipótese de melhorar as propriedades de um produto considerado ecológico, o tijolo de solo-cimento, por não utilizar a queima na sua produção, entretanto o cimento é um produto de impacto direto ao meio ambiente em seu processo de fabricação. Dessa forma, buscou-se avaliar a substituição do cimento por resíduos de corte de mármore e granito, atualmente com destino a céu aberto nas marmorarias quando executam o processo de beneficiamento de rochas. Seguindo normas, foi feita uma análise laboratorial de toda a cadeia produtiva do tijolo solo-cimento, partindo desde a verificação da adequabilidade dos materiais empregados, sendo o solo como principal, bem como os métodos utilizados na produção, e baseando-se na literatura, uma escolha de percentuais de substituição que pudesse indicar um processo ecologicamente correto e seguro para esses tijolos. Os resultados não foram totalmente satisfatórios, com os limites de absorção sendo todos atingido pelas dosagens estudadas, 0 %, 5 %, 10 % e 15 %, enquanto que para resistência à compressão, os valores médios ficaram abaixo da média mínimo exigida por norma, porém atingindo valores individuais satisfatórios e dentre os traços com substituição aquele que obteve melhores desempenhos foi o de 10 %.

Palavras-chave: tijolo solo-cimento; resíduo; sustentabilidade.

ABSTRACT

The construction industry has a great influence on the development of a society, both economically because it generates employment and income, and in the environment, because it generates excessive impacts. The exploitation of natural resources, whether for direct use in construction or as an input in the manufacturing industry, are classic examples of changes in the environment. Thus, it is inevitable that there will be generation of waste, both in the works and in the exploration and improvement of some materials. Even so, the construction cannot park, and the solution to the problem is to try to balance and minimize impacts. Therefore, this work raised the hypothesis of improving the properties of a product considered ecological, the soil-cement brick, for not using the burning in its production, however the cement is a product of direct impact to the environment in its process of production. manufacturing. In this way, we sought to evaluate the replacement of cement by waste from cutting marble and granite, currently destined for the open air in marble factories when performing the process of processing rocks. Following norms, a laboratory analysis was carried out of the entire production chain of the soil-cement brick, starting from the verification of the suitability of the materials used, with the soil as the main one, as well as the methods used in the production, and based on the literature, a choice of replacement percentages that could indicate an ecologically correct and safe process for these bricks. The results were not entirely satisfactory, with the absorption limits being all reached by the dosages studied, 0 %, 5 %, 10 % and 15 %, while for compressive strength, the average values were below the minimum average required by norm, however, reaching satisfactory individual values and among the traits with replacement, the one that had the best performance was 10%.

Keywords: soil-cement brick; residue; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de tijolos maciço: a) tijolo maciço pleno, b) tijolo maciço com rebaixo.....	19
Figura 2 - Tijolo cerâmico vazado.....	19
Figura 3 - Adobe maciço	20
Figura 4 - Formatos de tijolos ecológicos do tipo vazado.....	22
Figura 5 - Resultados de resistência à compressão.....	25
Figura 6 - Resultados para absorção de água.	25
Figura 7 - Amostra de solo 2.	29
Figura 8 - Processo de geração do resíduo. a) armazenamento das rochas, b) processo de corte, c) processo de acabamento, d) calha para escoamento da água com resíduo, e) tanques de decantação	30
Figura 9 - Processo de secagem das amostras	31
Figura 10 - Desmanche de torrões com almofariz e mão de gral: a) amostra 01, b) amostra 02, c) RCMG.	32
Figura 11 - Etapas do ensaio de massa específica. a) amostra imersa em água destilada, b) dispersão das partículas, c) aplicação do vácuo em picnômetro com amostra, d) picnômetro em recipiente para variar a temperatura	32
Figura 12 - Solo no aparelho de Casagrande.....	33
Figura 13 - Solo moldado em comparação ao gabarito de referência	34
Figura 14 - Caixa de madeira com amostra de solo	34
Figura 15 - Itens utilizado para ensaio de peneiramento: a) estufa, b) conjunto de peneiras no peneirador mecânico.....	35
Figura 16 - Massa específica pelo método do frasco de Le Chatelier: a) frasco de Le Chatelier, b) beckers com querosene.....	36
Figura 17 – Corpos de prova de argamassa para ensaio de pozolanicidade.....	36
Figura 18 - processo de mistura: a) determinação da massa dos materiais, b) espalhamento, c) mistura homogeneizada e umectada	38
Figura 19 - Processo de mistura: a) material pressionado, b) amostra atingindo o chão	39
Figura 20 - Prensa de fabricação dos tijolos.....	39
Figura 21 - Tijolo fabricado.....	40
Figura 22 - Tijolos em processo de cura.....	40
Figura 23 - Processo de corte dos tijolos. a) corte ao meio, b) retirada das reentrâncias.....	41

Figura 24 - Etapas de moldagem dos corpos de prova: a) tijolos cortados, b) pasta de cimento, c) corpos de prova moldados	42
Figura 25 - Etapas do ensaio de compressão: a) corpos submersos em água, b) prensa hidráulica	42
Figura 26 - Etapa do ensaio de absorção: a) secagem em estufa, b) submersão em água, c) pesagem em balança	43
Figura 27 - Verificação da retração após 7 dias	46
Figura 28 - Distribuição granulométrica do RCMG.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resistências à compressão simples de corpos de prova.....	26
Gráfico 2 - Resultados para absorção de água.....	26
Gráfico 3 - Curva granulométrica da amostra 2	45
Gráfico 4 - Porcentagens de faixas de solo presentes.....	45
Gráfico 5 - Absorção para cada corpo de prova em cada traço.....	49
Gráfico 6 - Médias de absorção para cada traço aos 7 dias.....	50
Gráfico 7 - Absorção para cada corpo de prova em cada traço, aos 28 dias: a) T0, b) T5, c) T10, d) T15	50
Gráfico 8 - Médias de absorção para cada traço aos 28 dias.....	51
Gráfico 9 - Alteração da absorção ao longo do período de cura	52
Gráfico 10 - Resistências individuais à compressão aos 7 dias: a) T0, b) T5, c) T10, d) T15	52
Gráfico 11 - Médias de resistência à compressão aos 7 dias.....	54
Gráfico 12 - Resistências individuais à compressão aos 28 dias: a) T0, b) T5, c) T10, d) T15	55
Gráfico 13 - Médias de resistência à compressão aos 28 dias.....	57
Gráfico 14 - Aumento da resistência à compressão ao longo do tempo.....	58
Gráfico 15 - Relação resistência à compressão e absorção: a) com 7 dias e b) com 28 dias ..	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de Consistência e Índice de Plasticidade.....	44
Tabela 2 - Comparativo entre os valores obtidos e os indicados em norma	46
Tabela 3 - Massa específica dos finos	47
Tabela 4 - Pozolanidade do RCMG.....	47
Tabela 5 - Índices de finura dos finos.....	48
Tabela 6 - Análise de variância para absorção aos 7 dias	60
Tabela 7 - Análise de variância para absorção aos 28 dias	61
Tabela 8 - Análise de variância da resistência à compressão aos 7 dias	61
Tabela 9 - Valores decrescente das médias das resistências à compressão de cada traço.....	61
Tabela 10 - Diferença entre os valores das médias 2 a 2.....	61
Tabela 11 - Diferença entre as médias para o Teste de Duncan.....	62
Tabela 12 - Análise de variância da resistência à compressão aos 28 dias	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Normatizações para o tijolo de solo-cimento.....	22
Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos por cada autor.....	27
Quadro 3 - Normas utilizadas na caracterização dos materiais.....	31
Quadro 4 - Proporções para a dosagem de argamassa de cal e resíduo.....	36
Quadro 5 - Relação de corpos de prova que atingiram a resistência mínima à compressão, aos 7 dias.....	54
Quadro 6 - Relação de corpos de prova que atingiram a resistência mínima, aos 28 dias.....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	TIJOLOS	18
3.1.1	<i>Tijolos Cerâmicos Maciços.....</i>	<i>19</i>
3.1.2	<i>Tijolos Cerâmicos Perfurados</i>	<i>19</i>
3.1.3	<i>Bloco Cerâmico.....</i>	<i>20</i>
3.1.4	<i>Tijolo de Adobe</i>	<i>20</i>
3.2	ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS	21
3.3	TIJOLO ECOLÓGICO	22
3.4	RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO	23
3.5	TIJOLOS ECOLÓGICOS COM ADIÇÕES DE RESÍDUOS	24
4	METODOLOGIA	28
4.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	28
4.2	COLETA DO SOLO.....	29
4.3	COLETA DO RCMG	29
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	31
4.4.1	<i>Caracterização do Solo.....</i>	<i>31</i>
4.4.2	<i>Caracterização do Resíduo.....</i>	<i>35</i>
4.4.3	<i>Caracterização do Cimento</i>	<i>37</i>
4.5	DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS	37
4.6	FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS	37
4.7	REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	41
4.7.1	<i>Resistência à Compressão.....</i>	<i>41</i>
4.7.2	<i>Absorção de Água</i>	<i>43</i>
5	RESULTADOS E ANÁLISES	44
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	44
5.1.1	<i>Massa Específica do Solo.....</i>	<i>44</i>
5.1.2	<i>Limites de Consistência.....</i>	<i>44</i>
5.1.3	<i>Análise Granulométrica.....</i>	<i>45</i>
5.1.4	<i>Retração do Solo.....</i>	<i>46</i>
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS FINOS.....	47
5.3	RESULTADOS FÍSICO-MECÂNICOS DOS TIJOLOS	48
5.3.1	<i>Absorção de Água</i>	<i>48</i>
5.3.2	<i>Resistência à Compressão Simples</i>	<i>52</i>
5.3.3	<i>Análise Estatística.....</i>	<i>60</i>
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS.....	64

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda industrial vem exigindo níveis de produção cada vez mais elevados a fim de acompanhar e atender as necessidades do crescimento urbano e populacional, buscando desenvolver melhorias em seus processos e que por vezes não levam em consideração questões ambientais, pois a alta demanda produtiva acarreta um consumo acelerado dos recursos naturais empregados nos processos fabris, tornando estes, escassos no meio ambiente (CAMELO, 2015).

A construção civil, como uma indústria, tem notável influência no meio econômico e ambiental, e com ela há uma série de vantagens como o aumento de empregos e o desenvolvimento de inovações, e desvantagens como a geração de resíduos que pode ocorrer desde os processos de fabricação dos materiais utilizados até a execução de serviços diversos (SINDICATO DA INDUSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO-SINDUSCON/SP, 2005).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais-ABRELPE (2021), a indústria da construção é responsável por gerar cerca de 47 milhões de toneladas de RCD (Resíduos de Construção e Demolição), contabilizando apenas o que foi coletado pelos municípios brasileiros e segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos-SINIR (2020), em 2019, gerou em torno de 58 milhões de toneladas, das quais, apenas 8,3 milhões obtiveram sua destinação, equivalendo a 14,3%.

A extração excessiva de recursos naturais, torna-se um problema agravado quando não há o aproveitamento total desses insumos e conseqüentemente a geração de resíduos, seja durante os processos de preparação de novos produtos, seja durante o beneficiamento para aplicação e, por vezes não há a destinação de todo o montante.

Pode-se considerar que a extração de matéria-prima para a construção civil tem grande influência na degradação do meio ambiente sobre dois aspectos. Segundo Salvador (2022), primeiro é responsável pela utilização de 50% de todo recurso natural consumido e, segundo, no que diz respeito à energia empregada em uma obra, estima-se que cerca de 80% do total é usada na fabricação e transporte de materiais (CONSTRUCTION *apud* TICIANI, 2005). Como exemplo pontual temos a fabricação de tijolos cerâmicos em olarias, material esse vastamente utilizado em obras, na qual a extração da sua matéria prima, a argila, pode causar assoreamentos e erosões, assim como o processo de fabricação e o transporte causam a poluição da atmosfera (HOLANDA; SILVA, 2012).

A etapa de acabamento também faz parte do processo construtivo, e um dos materiais bastante utilizados para esse emprego são as rochas ornamentais, na qual o Brasil tem grande potencial produtivo, estando entre os 5 maiores produtores do mundo com uma produção de 8 milhões de toneladas anuais (MONTANI, 2019).

Com essa vasta capacidade produtiva, vem também uma grande quantidade de resíduos gerados, que segundo Almeida, Branco e Santos (2005), ao longo do processo de fabricação das pedras há uma geração de cerca de 40% de resíduos, então, cruzando-se com dados anteriormente citados, cerca de 4,5 milhões de toneladas de Resíduo do Corte de Mármore e Granito (RCMG) são gerados anualmente, apresentando valores preocupantes, ainda mais pelo fato de que o descarte dos mesmos é feito de forma inadequada, como deposição a céu aberto ou lançado em córregos e rios (APOLINÁRIO, 2014). Com isso faz-se necessário uma melhor destinação para esses resíduos, sendo uma delas o reaproveitamento dos mesmos na aplicação em outras misturas, recolocando-o na cadeia produtiva.

Segundo Caputo (2012), a utilização de solo como material de construção já é uma prática bem difundida, principalmente em obras geotécnicas como estradas e barragens, visto que o mesmo está presente em abundância no ambiente e ao longo do tempo constatou-se possuir propriedades físicas que o tornam adequado para aplicação em obras, desde que apresente características satisfatórias que são exigidas por certas especificações e dessa forma, com o passar do tempo também passou a ser aplicado em edificações.

Para atingir os parâmetros desejados para aplicações do solo, por vezes é necessário um melhoramento deste, misturando-o com outros componentes, tanto como forma de melhorá-lo, como podendo gerar novos produtos.

O solo-cimento surgiu, a princípio, como uma forma de tratamento de leitos de estradas e pistas de rolamento, com o objetivo de se obter um melhoramento nas características do solo (BAUER, 2008). Trata-se de uma mistura de solo, cimento Portland e água, dosada de acordo com a necessidade de sua aplicação, compactada e seguido de tempo de cura, resultando em um produto enrijecido, ressalta-se ainda que outros materiais podem ser empregados, junto ao cimento nesse processo de melhoria (PITTA, 1995).

A utilização de tijolos ecológicos fabricados a partir de solo, cimento e água surge como uma alternativa sustentável para a aplicação em obras, por apresentar vantagens construtivas, que vão desde os materiais utilizados à sua fabricação que não utiliza energia para secagem, nem consumo de madeira no processo de queima, evitando assim a emissão de CO₂ na atmosfera (MARINHO, 2017).

Ainda segundo Marinho (2017), o uso desses tijolos, pode reduzir o consumo de concreto em 70% e do aço em 50%, devido ao formato e dimensões dos blocos que permitem uma tipologia estrutural sem uso de pilares devido ao amarramento entre eles, além de que, também reduz a mão de obra e os custos na execução da alvenaria em 40% a 50%.

Nesse contexto, entra em destaque a importância de uma avaliação da viabilidade da aplicação do RCMG como componente extra na mistura e modelagem de tijolos ecológicos de solo-cimento, a fim de observar a influência sobre as propriedades físicas e mecânicas do produto final, sendo elas a resistência à compressão e a absorção de água, além de, caso obtenha-se resultados satisfatórios, avaliar até que ponto a adição do resíduo traz bons resultados para a mistura.

Com essa proposta, esse trabalho trás no capítulo 2 os objetivos a serem atingidos, no capítulo 3 a revisão da literatura sobre o assunto avaliado, a metodologia do trabalho está descrita no capítulo 4, o capítulo 5 serve para apresentação e análise dos resultados, enquanto no capítulo 6 são tecidas as conclusões.

2 OBJETIVOS

Nesse capítulo delineamos os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso.

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar os efeitos da substituição parcial do cimento por resíduo proveniente do corte de pedras ornamentais, na fabricação de tijolos de solo-cimento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de alcançar o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- realizar um levantamento das pesquisas recentes que tratam da substituição parcial do cimento por variados tipos de resíduos, para a fabricação de tijolos de solo-cimento;
- investigar a influência da substituição parcial do cimento pelo RCMG (Resíduo de Corte de Mármore e Granito), nas características físicas e mecânicas nos tijolos solo-cimento;
- comparar os resultados das características do tijolo fabricado em solo-cimento e o fabricado em solo-cimento-resíduo, para este identificar o percentual com as melhores características.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo contém a exposição sobre os tijolos de solo-cimento, tratados como tijolos ecológicos e o estado da arte nas alternativas para fabricação, bem como os resultados obtidos com elas.

3.1 TIJOLOS

Atualmente e historicamente, o tijolo é um dos materiais mais utilizados na indústria da construção, pois desde os primórdios do desenvolvimento das tecnologias construtivas são utilizados como componentes de estruturas de paredes, também chamados de pedras artificiais, tanto pela semelhança, quanto por substituírem a aplicação das mesmas (BAUER, 2008).

Os tijolos variam de acordo com a sua forma, dimensões e material utilizado na fabricação, podendo ser de cerâmica ou de concreto, o que conseqüentemente altera o peso próprio e massa específica do material (THOMAZ, 1995). Quanto à aplicação, podem ser divididos em três funções, podendo ser usado como elemento estrutural, fechamento de paredes, ou como decoração, sendo posicionados em locais estratégicos para melhor conforto ambiental (SILVA *et al.*, 2018). As características também podem variar de acordo com o processo construtivo, cada um resultando em um tipo diferente de tijolo.

Como o objeto de estudo deste trabalho é o tijolo solo-cimento, este capítulo se detém a aprofundar-se apenas no tijolo cerâmico cujas características físicas e de aplicação, se aproximam do objetivo da avaliação.

Este tipo de tijolo, atualmente é mais utilizado como aspecto decorativo, devido ao desenvolvimento de outros tipos de tijolos ou blocos que hoje são mais usuais, sendo mais utilizado em tempos atrás devido à sua praticidade de produção, podendo serem feitos por processos artesanais. Comumente é fabricado em fôrmas de ferro ou madeira (SILVA *et al.*, 2018). Industrialmente, o processo de fabricação parte da preparação da matéria prima com a desagregação e classificação de acordo com a granulometria, partindo para a preparação da massa com a dosagem adequada; depois é feita a formação das peças por meio de processos de extrusão ou prensagem e por fim, o tratamento térmico onde é feito o processo de secagem à temperaturas que variam de 50 à 150°C, seguido do processo de queima, com os produtos submetidos à temperaturas entre 800 e 1700°C [ABCERAM, 202-?]. Em se tratando de energia consumida, Ferreira (2015), em seu estudo sobre o ciclo de vida de tijolos de argila, verificou

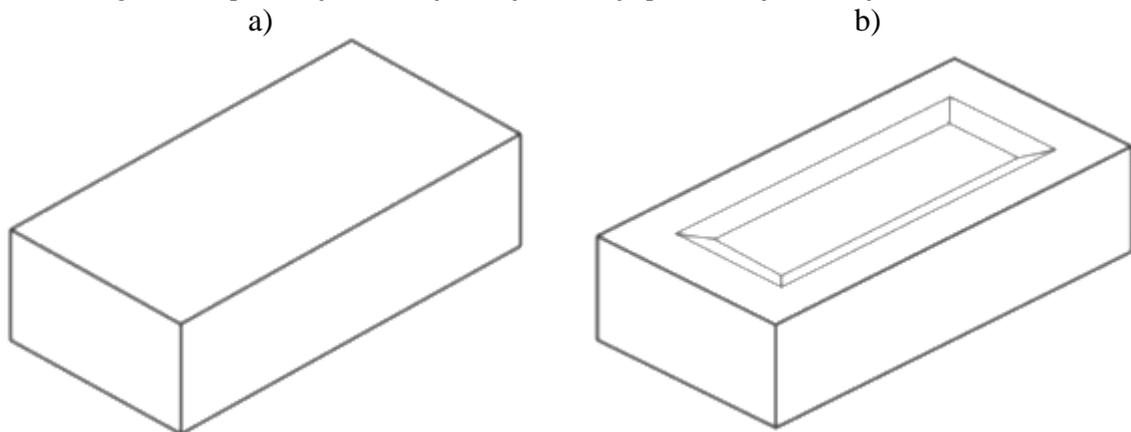
que para a produção de 1 (uma) tonelada de tijolos cerâmicos é necessário um emprego de cerca de 4,6 MJ de energia térmica e de 9,4 kJ de energia elétrica.

Segundo a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, NBR 15270-1 (ABNT, 2017), o tijolo cerâmico é o componente principal da alvenaria, que possui altura de até 115 mm. Estes variam de acordo com a sua forma, podendo ser em formato “C”, de canto, ou mesmo em formato de paralelepípedo, sendo este tipo, o de maior utilização. Ainda segundo a mesma norma, os tijolos podem ser fabricados maciços ou com furos.

3.1.1 Tijolos Cerâmicos Maciços

São os que “possuem todas as faces plenas de material, podendo apresentar rebaixos de fabricação em uma das faces de maior área” (ABNT, 2017), como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Tipos de tijolos maciço: a) tijolo maciço pleno, b) tijolo maciço com rebaixo.



Fonte: ABNT (2017).

3.1.2 Tijolos Cerâmicos Perfurados

São os componentes da alvenaria que possuem furos verticais ou horizontais, com porcentagem de vazios de até 25%, conforme Figura 2.

Figura 2 - Tijolo cerâmico vazado.



Fonte: ANICER [2022?].

O processo de fabricação dos tijolos vazados é a extrusão, prensando a massa plástica de argila por fenda ou molde com o formato desejado, sendo menos oneroso e por vezes mais prático para esse formato em comparação ao método da prensagem (FERREIRA, 2015).

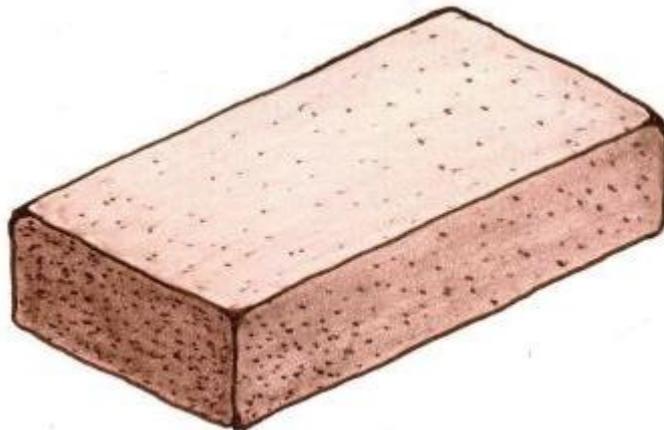
3.1.3 Bloco Cerâmico

Este tipo de tijolo possui as mesmas características e processos de fabricação dos tijolos cerâmicos, diferenciando-se apenas pelas dimensões. Nos blocos cerâmicos, a altura destes é superior a 115 mm.

3.1.4 Tijolo de Adobe

Comumente conhecido dentro das aplicações da terra crua na construção civil, o adobe é um tipo de tijolo com dimensões aproximadas de (20 x 20 x 40) cm, feito de massa plástica composta de barro e água, que são compactados manualmente em fôrmas de madeira, com a mistura seca à sombra e depois curada ao sol (PEREIRA, 2019). A massa deve possuir a granulometria indicada na norma NBR 16814 (ABNT, 2020), indicando que sua composição tenha em torno de 45 % a 65 % de areia, até 30 % de silte e argila entre 25 % e 35 %, e ao fim do processo de cura, ser submetido à ensaio de compressão devendo suportar carga de no mínimo 1,5 MPa, sua aparência é aproximadamente como mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Adobe maciço.



Fonte: Adaptado de ABNT (2020).

São mais ecologicamente corretos que os tijolos e blocos cerâmicos, pois na sua produção não ocorre o processo de queima, o que, junto aos materiais utilizados, também tem sua vantagem econômica.

3.2 ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

A estabilização de um material busca trazer para o mesmo uma melhora em suas características, no caso dos solos busca-se, dentre outras, uma maior resistência à esforços de cargas, à absorção de água e durabilidade (MACHADO *et al.*, 2017). Este processo pode ser feito de três formas diferentes, aplicados individualmente ou em conjunto, sendo eles a estabilização mecânica, granulométrica e química.

O processo mecânico é muito aplicado em obras de estradas, sendo um dos mais antigos utilizados, é feito através da aplicação sucessiva de cargas por meio de equipamentos adequados (MELLO, 2019). Como resultado tem-se um solo compactado com maior resistência à ruptura sob a ação de cargas externas, com uma redução na variação volumétrica quando submetida à esforços e a ação da água, bem como menos permeável devido à redução do coeficiente de permeabilidade devido ao menor volume de vazios causado pelo rearranjo das partículas (RICARDO; CATALANI, 2007).

Já a estabilização granulométrica consiste na mistura de materiais de diferentes granulometrias, seguindo uma proporção adequada de cada componente, sejam eles pedregulhos, areias ou finos, afim de se obter a composição necessária para um solo bem graduado (WALLAU, 2004).

Na estabilização química, é adicionado ao solo natural um material químico, seja ele orgânico ou inorgânico, a fim de obter como resultado um solo com propriedades melhoradas (GUIMARÃES, 2002). Os materiais mais utilizados como estabilizantes são os betuminosos, resinas, cimento Portland, cal e outros (MELLO, 2019). Como afirma Cristelo (2001), com a mistura dos materiais ocorre uma reação química envolvendo as partículas de solo, a água e os materiais adicionados, alterando permanentemente as características do solo natural, havendo como produto um novo material com diferentes propriedades.

É um dos processos mais utilizados em obras de estradas, onde geralmente se utiliza o solo local, este que pode não apresentar as características solicitadas em projeto, então é feita uma alteração na estrutura do solo com o uso dos aditivos supracitados, como também subprodutos ou resíduos industriais (FRANÇA, 2003).

No que diz respeito ao uso do cimento como estabilizante, com o passar do tempo essa técnica de estabilização química passou também a ser utilizada em outros materiais, e consequentemente aplicadas em outras áreas, além de estradas, como em edificações. No ano de 1948 a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), através de estudos e ensaios,

fixou critérios para o uso de solo-cimento em construção de paredes do tipo monolíticas (BAUER, 2008), e posteriormente deu-se início à utilização da mistura em elementos de alvenaria.

3.3 TIJOLO ECOLÓGICO

Segundo ABCP (2000), a utilização de tijolos ecológicos, também chamados de tijolo de solo-cimento, é uma das alternativas para aplicação em alvenarias, em que, após um curto período de cura pode atingir valores de resistência à compressão semelhantes aos de tijolos feitos de cerâmica. Trata-se de uma mistura parcialmente úmida de solo, matéria prima principal, e cimento, entrando com função de aglomerante; após misturados, é feita então a compactação, com a utilização de prensa, mecânica ou manual.

Os formatos dos tijolos podem ser vazados, conforme a Figura 4, ou maciços, possuindo características que se adequam à alvenaria modular, onde o assentamento é feito por encaixes e por consequência, há uma diminuição no consumo de argamassa (MOURA, 2022).

Figura 4 - Formatos de tijolos ecológicos do tipo vazado.



Fonte: A autoria própria (2022).

Os tijolos devem atender à normas que ditam as suas características necessárias, desde ao material a ser usado na fabricação ao desempenho frente aos ensaios físicos-mecânicos, como demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Normatizações para o tijolo de solo-cimento.

Norma	Item	Parâmetros
NBR 10833 (ABNT, 2012)	Solo e Solo + RCMG	-100 % passante na peneira de abertura 4,75 mm; -10 % a 50 % passante na peneira de abertura 0,075 mm; -Limite de liquidez ≤ 45 %; -Índice de plasticidade ≤ 18 %.
BT-111 (ABCP, 2000)	Solo	Retração ≤ 2 cm.

Norma	Item	Parâmetros
NBR 8491 (ABNT, 2012)	Tijolo de solo-cimento	-Absorção de água individual $\leq 22\%$; -Média das absorções de água $\leq 20\%$; -Resistência a compressão individual $\leq 1,7$ MPa. -Média das resistências a compressão ≤ 2 MPa.

Fonte: Autoria própria (2022).

3.4 RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO

As rochas presentes na crosta terrestres podem ser classificadas em ígneas, sedimentares e metamórficas. As rochas ígneas se dividem em extrusivas quando a solidificação do magma acontece na superfície, no processo de vulcanismo formando rochas duras, escuras e de granulação invisível, a exemplo dos basaltos, enquanto as intrusivas se consolidam lentamente no interior da terra, formando rochas com granulação mais grossa e com variadas cores dependendo dos minerais formadores, a exemplo dos granitos, que podem ter elevada resistência e durabilidade para uso na construção civil como rochas ornamentais.

As rochas sedimentares são formadas por sedimentos de outras rochas e a sua durabilidade e coesão dependerá bastante do fator cimentício fazendo com que, sejam menos resistentes do que as rochas ígneas, a exemplo dos arenitos.

As rochas metamórficas são originárias de outras pré-existentes que passam por transformação no estado sólido, através de recristalização dos minerais quando submetidas a elevadas variações de temperatura e pressão, a exemplo dos mármore.

Segundo Frazão (2002) os granitos possuem variedade de textura e coloração, com estrutura compacta e resistência mecânica relativamente alta, o que os tornam apropriados para revestimentos externos e internos de edificações, além de outros usos como brita e calçamentos. O mesmo autor descreve os mármore como rochas adequadas para revestimento interno devido à sua alta trabalhabilidade e diversidade estética.

Para serem utilizadas, as rochas são extraídas em grandes blocos e passam por processos de beneficiamento que incluem desde o desdobramento dos blocos em chapas até os arremates em marmorarias para serem utilizadas com pias, bancadas, peitoril, soleiras, etc. (VIEIRA; DUARTE, 2021).

Dessa forma, todos os processos, desde a extração até a o produto final geram resíduos de rochas que muitas vezes não possuem um descarte adequado sendo jogados a céu aberto.

Segundo ABIROCHAS (2010) *apud* Santos, Destefani e Holanda (2013):

O sistema de desdobramento de blocos de rochas ornamentais para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de rejeitos na forma de lama, de 20 a 25 % da massa dos blocos, geralmente constituída de água, granalha, cal e rocha moída, que

após o processo, são lançadas no meio ambiente em forma de rejeito, ocupando espaços ao ar livre.

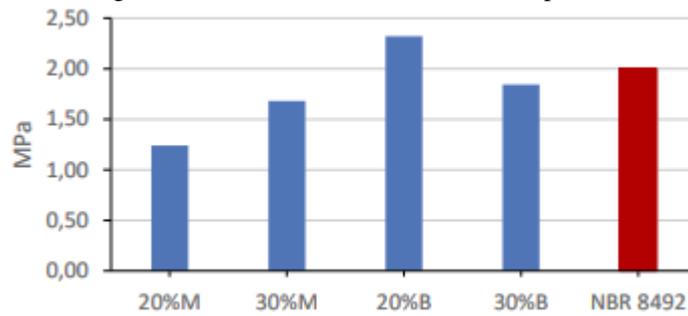
Estudos foram feitos a fim de verificar as características do resíduo em comparação às do cimento, com o intuito de verificar quais são as semelhanças entre si. Nóbrega *et al.* (2014) através de Fluorescência de Raios-X, com o uso do equipamento EDX-720, fizeram uma análise química do pó de pedra ornamental e identificaram a predominância de sílica (SiO_2 , 43,63%), óxido de cálcio (CaO , 26,04%), alumina (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3) em sua composição, sendo estes os componentes básicos na produção de cimento, onde a sílica reage com a cal formando silicatos dicálcico (C_2S) e tricálcico (C_3S), responsáveis pela resistência do cimento ao longo do tempo (TORRES FILHO, 2016). Marques, Santos e Cruz (2021) afirmam que o RCMG não possui pozolanicidade, característica essa ligada às propriedades aglomerantes que o material venha a ter (ABNT, 2014), justificando que essa falta possivelmente é devido à alta cristalinidade presente na composição química do resíduo, verificado nos estudos de Santos, Apolinário e Ribeiro (2013).

3.5 TIJOLOS ECOLÓGICOS COM ADIÇÕES DE RESÍDUOS

Um dos temas mais recorrentes dentre os estudos sobre tijolos ecológicos é a melhor relação entre os materiais que resulte em um menor consumo de cimento, mantendo as características e propriedades normatizadas do produto final. Produtos industriais podem ser adicionados à mistura, mas ecologicamente não seria atrativo visto que o processo de fabricação dos mesmos também acarretaria em geração de resíduos, logo a gama de estudos teve seu foco na reutilização de resíduos, provenientes de materiais minerais.

Araújo e Gurgel (2019) desenvolveram seu trabalho de conclusão de curso avaliando a substituição parcial do cimento em duas situações e por dois tipos de resíduos, primeiro usaram o pó de brita proveniente da fabricação de brita, onde foram aplicadas as proporções de 20% e 30% em massa, e em outra condição foi utilizado o pó de mármore, nas mesmas proporções, obtendo os resultados mostradas de Figura 5.

Figura 5 - Resultados de resistência à compressão.

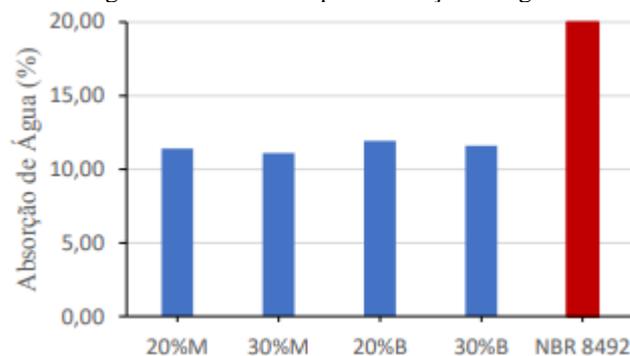


Fonte: Araújo e Gurgel (2019).

A partir dos resultados verificou-se que, com a adição do pó de mármore não foram atingidos os valores mínimos de resistência indicados em norma, mas com o aumento da quantidade adicionada houve um aumento na resistência à compressão. Já com a utilização do pó de brita o resultado superou o valor em norma com 20% de material e uma resistência menor quando usado uma proporção maior.

Também foi avaliada a absorção de água dos tijolos, obtendo os resultados mostrados na Figura 6.

Figura 6 - Resultados para absorção de água.



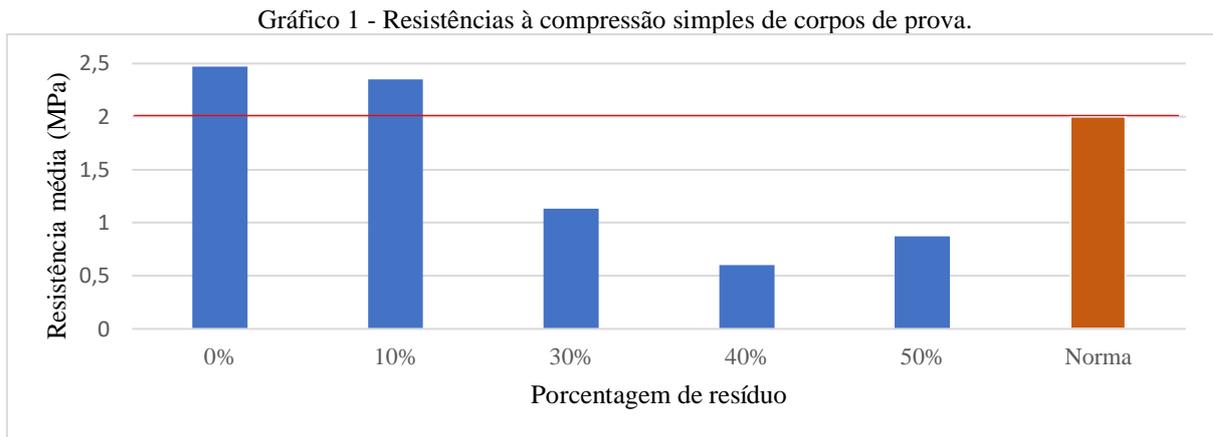
Fonte: Araújo e Gurgel (2019).

Os autores obtiveram resultados satisfatórios com as adições, com valores próximos para cada traço e atendendo aos requisitos normatizados. Verifica-se também que a proporção de pó de mármore em 30% foi a que obteve melhor desempenho vantagem nos resultados em comparação às demais dosagens.

Miranda, Bacarji e Ferreira (2007) avaliaram diferentes traços com porcentagens de cimento em 5%, 10% e 15% e para cada um desses foi adicionado RCMG, nas proporções de 0%, 10%, 15% e 30%. Chegaram à conclusão de que os teores de cimento de 10 e 15%, independentes do teor de resíduo, atingiram os resultados superiores aos exigidos em norma,

até mesmo superior, com valores médios de resistência à compressão em torno de 4 MPa e 5 MPa, podendo ser utilizados desempenhando função estrutural.

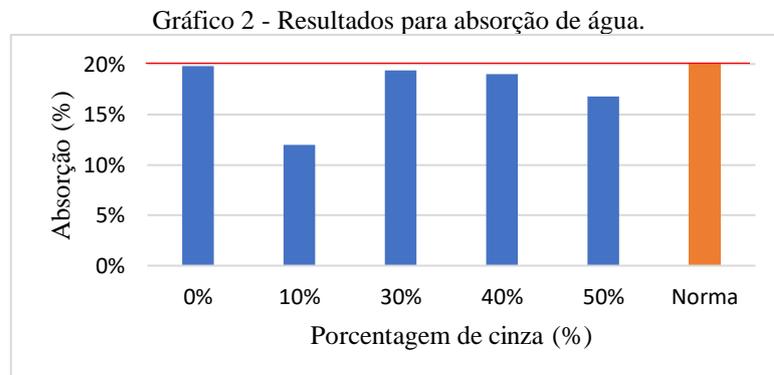
Cavalcanti Filho (2016) verificou as propriedades físicas do tijolo ecológico com a substituição parcial do cimento por cinza vegetal, proveniente da lenha da madeira algaroba, ele fez 5 traços, com substituição em 0%, 10%, 30%, 40% e 50%, usando como traço de referência a proporção de 1:10 (cimento:solo), obtendo os resultados mostrados no Gráfico 1, para a resistência à compressão.



Fonte: Autoria própria (2022) com dados de Cavalcanti Filho (2016).

Os resultados foram satisfatórios até a substituição em 10%, ultrapassando o limite mínimo proposto em norma, havendo uma acentuada diminuição a partir da porcentagem de 30%, diminuindo até 40% e com um leve aumento em 50%, porém esses três últimos não atingiram as marcas mínimas.

No caso da absorção de água, em todas as situações os resultados foram dentro do limite previsto em norma, com a proporção de 10% apresentando melhor desempenho, conforme pode ser visto no Gráfico 2 confeccionado com os dados de Cavalcanti Filho (2016)



Fonte: Autoria própria (2022) com dados de Cavalcanti Filho (2016).

De forma resumida, quadro 2 mostra os resultados obtidos de cada autor para cada análise que fizeram.

Quadro 2 - Resumo dos resultados obtidos por cada autor.

Autores	Adição	Resistência (MPa)	Absorção	
Araújo e Gurgel (2019)	RCMG (20 %)	1,24	11 %	
	RCMG (30 %)	1,68	12 %	
	Pó de brita (20 %)	2,32	11 %	
	Pó de brita (30 %)	1,84	10 %	
Miranda, Bacarji e Ferreira (2007)	Cimento (5 %)	RCMG (10 %)	1,3	17,87 %
		RCMG (15 %)		
		RCMG (30 %)		
	Cimento (10 %)	RCMG (10 %)	3,4	17,53 %
		RCMG (15 %)		
		RCMG (30 %)		
	Cimento (15 %)	RCMG (10 %)	4,5	16,56 %
		RCMG (15 %)		
		RCMG (30 %)		
Cavalcanti Filho (2016)	RCMG (0 %)	2,47	19,80 %	
	RCMG (10 %)	2,35	11,96 %	
	RCMG (30 %)	1,13	19,39 %	
	RCMG (40 %)	0,17	18,99 %	
	RCMG (50 %)	0,14	16,78 %	

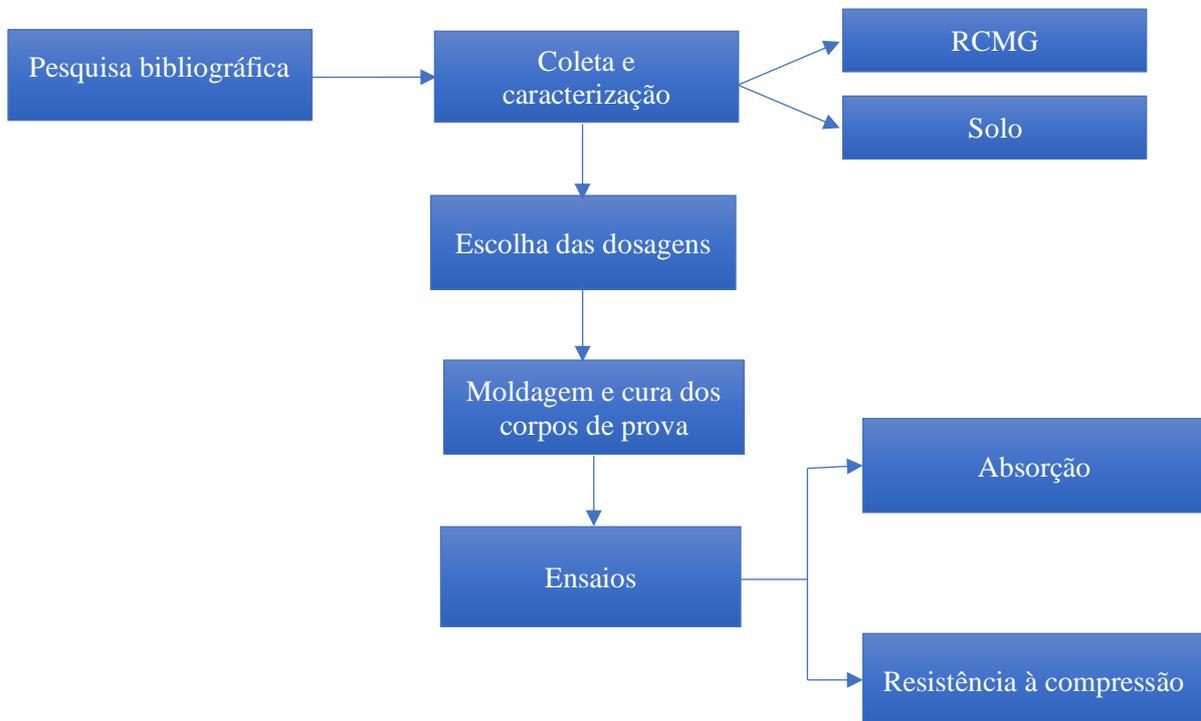
Fonte: Autoria própria (2022).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentado a organização metodológica e as etapas realizadas para atingir o objetivo do trabalho, descrevendo os materiais, equipamentos e procedimentos.

A pesquisa é classificada como quantitativa e experimental, pois determina as propriedades do tijolo ecológico após a realização de procedimentos em laboratório feitos com os materiais coletados em campo, ensaios que abrangem a caracterização dos insumos, moldagem de corpos de prova e avaliações de desempenho, todos descritos no decorrer desse capítulo, conforme sequência mostrada no Fluxograma 1.

Fluxograma 1 – Procedimentos da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2022).

4.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Realizou-se uma extensa pesquisa em fontes conceituadas com materiais bibliográficos de grande relevância, tais como artigos científicos publicados em revistas e anais de eventos, bem como repositórios de teses e dissertações

4.2 COLETA DO SOLO

Nessa etapa foi feita a coleta e análise do solo usado na produção dos tijolos, devendo o mesmo atender às normas que tratam da fabricação de tijolos de solo-cimento, conforme Quadro 1.

Houveram duas amostras de solo coletadas, a primeira foi em uma fábrica de materiais cerâmicos da região, sendo o solo utilizado na produção de tijolos e telhas, e a segunda coleta foi realizada na obra da Avenida João Maciel de Sousa, na Cidade de Cajazeiras, material que viria a ser utilizado em serviços de terraplenagem, proveniente de uma jazida na qual não foi possível dirigir-se até a mesma, coletando-o no local de descarga dos caminhões basculantes sob autorização dos administradores. Em ambas as situações se utilizou ferramentas sendo elas pá, baldes e sacos de nylon, e transporte do material em camionete, todos os meios disponibilizados pela instituição de ensino. Nesse trabalho foram designadas como amostras 1 e 2, onde a amostra selecionada pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 - Amostra de solo 2.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.3 COLETA DO RCMG

Nessa etapa foi feita a coleta do RCMG em uma marmoraria da região, sendo possível observar o processo de beneficiamento das rochas, o processo de geração do resíduo, bem como a sua deposição final, conforme descrito na Figura 8. O procedimento da coleta foi o mesmo

feito para o solo, com o uso de pá, baldes e sacos de nylon, como transporte em camionete. Esse material foi utilizado substituindo parcialmente o cimento no traço para fabricação dos tijolos.

Figura 8 - Processo de geração do resíduo. a) armazenamento das rochas, b) processo de corte, c) processo de acabamento, d) calha para escoamento da água com resíduo, e) tanques de decantação.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Nessa etapa foi feito a análise dos materiais de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Boletim Técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland, todos especificadas no Quadro 3, a fim de verificar tanto as características físicas quanto a aplicabilidade na fabricação dos tijolos.

Quadro 3 - Normas utilizadas na caracterização dos materiais.

Norma	Material	Procedimento
ABNT NBR 6457/2016	Solo	Preparação de amostras para ensaios
ABNT NBR 6458/2016		Determinação na massa específica
ABNT NBR 6459/2016		Determinação do limite de liquidez
ABNT NBR 7180/2016		Determinação do limite de plasticidade
ABNT NBR 7181/2016		Análise granulométrica
ABCP BT-111/2000		Retração do solo
ABNT NBR 6459/2016		Solo + RCMG
ABNT NBR 7180/2016	Determinação do limite de plasticidade	
ABNT NBR 5751/2015	RCMG	Determinação da atividade pozolânica
ABNT NBR 11579/2012	RCMG	Módulo de finura
	Cimento Portland	
ABNT NBR 16605/2017	RCMG	Determinação de massa específica dos materiais pulverulentos
	Cimento Portland	

Fonte: Autoria própria (2022).

4.4.1 Caracterização do Solo

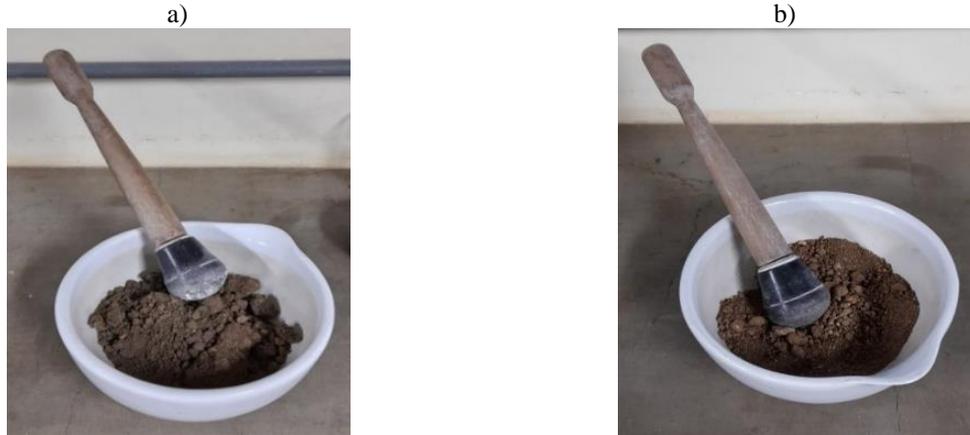
No ensaio da norma NBR 6457 (ABNT, 2016), a preparação do solo para ensaios de caracterização foi feita pelo processo de secagem prévia, secando-o ao ar até ficar próxima da umidade hidrocópica, sem a necessidade de ser feito o quarteamento pois a mesma não foi extraída diretamente da jazida, conforme pode ser visto na Figura 9, posteriormente foi feito o desmanche dos torrões com almofariz e mão de gral, conforme caracterizado na Figura 10.

Figura 9 - Processo de secagem das amostras.



Fonte: Autoria própria (2022).

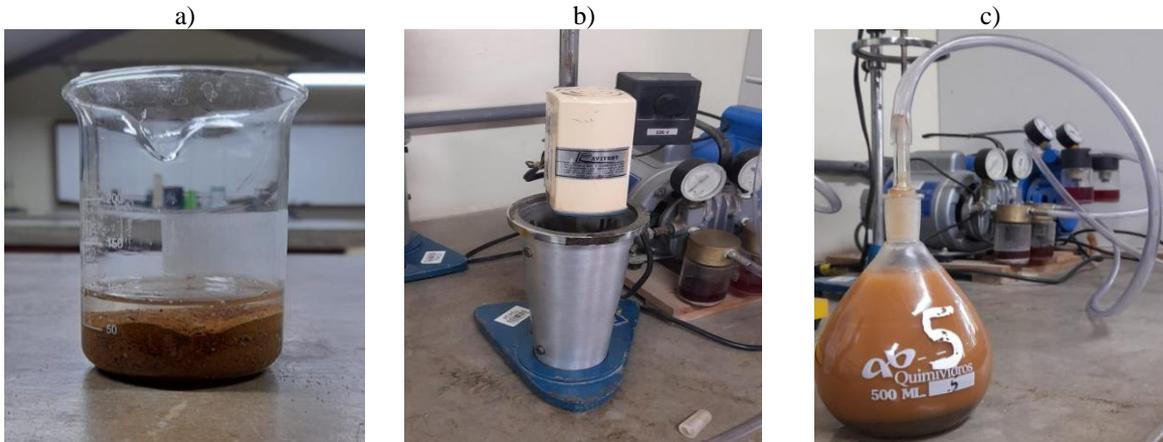
Figura 10 - Desmanche de torrões com almofariz e mão de gral: a) amostra 01, b) amostra 02.



Fonte: Autoria própria (2022).

Segundo Gonçalves (2018) o método mais indicado para análise da massa específica desse tipo de material é o descrito no Anexo B da norma NBR 6458 (ABNT, 2016), adotando-se o processo do picnômetro, conforme Figura 11.

Figura 11 - Etapas do ensaio de massa específica. a) amostra imersa em água destilada, b) dispersão das partículas, c) aplicação do vácuo em picnômetro com amostra, d) picnômetro em recipiente para variar a temperatura.



Fonte: Autoria própria (2022).

Ao coletar todos os dados, aplica-os na Equação 1 para obter a massa específica dos grãos do solo.

$$\rho = \frac{M_1 \times 100 / (100 + h)}{\left[M_1 \times \frac{100}{100 + h} \right] + M_3 - M_2} \times \rho_w \quad (1)$$

Onde:

ρ - massa específica dos grãos de solo (g/cm^3);

h - Umidade realizada pelo método da estufa (%);

ρ_w - Massa específica da água na temperatura T de ensaio (g/cm^3);

M_1 - Massa do solo úmido (g);

M_2 - Massa do picnômetro + solo + água, na temperatura de ensaio (g);

M_3 - Massa do picnômetro cheio de água até a marca de referência, na temperatura T de ensaio (g).

Para avaliar o quão o solo é fluido, é verificado o limite de liquidez pelo procedimento indicado na NBR 6459 (ABNT, 2016), iniciando com uma amostra úmida secando-a gradativamente e avaliando a quantidade de golpes necessárias para fechar uma ranhura de cerca de 1 cm, procedimento feito com o aparelho de Casagrande, como indicado na Figura 12. O limite de liquidez será a umidade resistente à 25 golpes.

Figura 12 - Solo no aparelho de Casagrande.



Fonte: Autoria própria (2022).

Outro ensaio de consistência foi feito para avaliar até que ponto o solo pode ser moldado, sendo realizado o ensaio de limite de plasticidade, seguindo a NBR 7180 (ABNT, 2016). Nesse procedimento é avaliado a umidade da amostra na qual ela sofre fratura ao ser moldada (GONÇALVES, 2018). A moldagem é feita sobre uma placa de vidro de superfície esmerilhada, rolando a amostra até atingir uma forma cilíndrica de diâmetro semelhante ao de referência, como visto na Figura 13.

Figura 13 - Solo moldado em comparação ao gabarito de referência.



Fonte: A autoria própria (2022).

As análises para limites de consistência também foram feitas com a mistura de solo com resíduo, estes nas proporções equivalentes a substituição ao cimento, obtendo três amostras de 300 g de solo com adição 1,5 g, 3 g e 4,5 g de RCMG, respectivamente em cada amostra.

A avaliação de retração do solo é feita por meio do ensaio prático indicado no boletim técnico BT-111 (ABCP, 2000), onde em caixa de madeira de dimensões (60 x 8,5 x 3,5) cm, é adicionada uma quantidade de solo com consistência de argamassa, como mostrado na Figura 14, deixando o conjunto em repouso e ao fim de 7 dias verificar a retração longitudinal.

Figura 14 - Caixa de madeira com amostra de solo.



Fonte: A autoria própria (2022).

A composição granulométrica do solo foi feita com utilização conjunta de dois métodos experimentais, sendo eles o peneiramento e a sedimentação, sendo o primeiro usado para identificar a fração grossa (areia e pedregulho) e o segundo usado para a proporção de finos (silte e argila) (GONÇALVES, 2018).

A proporção de materiais grossos é obtida por meio do peneiramento grosso, onde é verificado a porcentagem de solo retida nas peneiras de abertura 50 mm, 38 mm, 25 mm, 19mm, 9,5 mm e 4,8 mm. A proporção dos grãos menores é obtida pelo peneiramento fino, onde o material retido na peneira 0,075 mm é passado nas peneiras 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25mm, 0,15 mm e 0,075 mm. Para esses ensaios utiliza-se um conjunto de peneiras segundo a ABNT, bem como estufa e peneirador mecânico, vistos na Figura 15.

Figura 15 - Itens utilizado para ensaio de peneiramento:
a) estufa, b) conjunto de peneiras no peneirador mecânico.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.4.2 Caracterização do Resíduo

Por ser usado como substituição parcial na mistura, a análise do RCMG foi feita por meio de ensaios para verificar as semelhanças físicas com o cimento. Para tal, foi feito o ensaio de massa específica pelo método do frasco de Le Chatelier, seguindo a NBR 16605 (ABNT, 2017), como demonstrado na Figura 16.

Figura 16 - Massa específica pelo método do frasco de Le Chatelier:
a) frasco de Le Chatelier, b) beakers com querosene.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para verificar se o RCMG possui pozolanicidade seguiu-se os procedimentos indicados pela ABNT NBR 5751 (2015), moldando-se três corpos de prova cilíndricos com dimensões 5 x 10 cm, com areia normal, cal e resíduo nas proporções indicadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Proporções para a dosagem de argamassa de cal e resíduo

Materiais	Quantidade em massa
Hidróxido de cálcio	104 g
RCMG	$m = 2 \times \frac{\delta_{residuo}}{\delta_{cal}} \times 104$
Areia normal	234 g para cada uma das quatro frações.

Fonte: Autoria própria, 2022.

A massa específica do hidróxido de cálcio foi obtida pelo método do frasco de Le Chatelier, supracitado anteriormente, obtendo um valor de 2,35 g/cm³. A massa do RCMG para a dosagem, obtida pela equação indicada no Quadro 4, foi de 239,86 g, passado o período de cura os corpos de prova foram retirados dos moldes, como mostra a Figura 17 e avaliados a resistência à compressão.

Figura 17 – Corpos de prova de argamassa para ensaio de pozolanicidade.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Também foi verificado o índice de finura pela ABNT NBR 11579 (2012) iniciando com o destorroando do material e passando-o na peneira de abertura 0,075 mm, verificando a porcentagem retida.

4.4.3 Caracterização do Cimento

Para o cimento fora verificado o índice de finura pela ABNT NBR 11579 (1991), passando o material na peneira com abertura de malha de 0,075 mm.

4.5 DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS

A escolha da dosagem para cada traço foi baseada em pesquisas bibliográficas a respeito do tema. ABCP (2000) indica que o traço básico pode ser 1:10 (cimento:solo). Em comparação aos fatores que são agressivos ao meio ambiente, comparando a produção de tijolos cerâmicos com a de tijolos com cimento em sua composição, Ferreira (2015) verificou em seu estudo que a porcentagem de cimento na mistura que é menos agressiva ao meio ambiente e que possui melhor vantagem ecológica frente aos cerâmicos, seria de 10%. Logo, para esse trabalho, foi definido como traço básico a proporção com 10% de cimento em relação ao solo, e com a proposta de mais 3 traços com substituição parcial do cimento por RCMG em 5%, 10% e 15%, gerando os seguintes traços: 1:0:10, 0,95:0,05:10, 0,9:0,1:10 e 0,85:0,15:10, cimento:resíduo:solo, definidos como traços T0, T5, T10 e T15, respectivamente.

4.6 FABRICAÇÃO DOS TIJOLOS

A fabricação teve início pela separação dos materiais em massa, na balança, seguindo a proporção indicada em cada traço. Primeiramente o solo foi espalhado à uma altura em torno de 20 cm, depois os demais materiais foram espalhados sobre o mesmo da forma mais distribuída possível, ainda secos foram misturados de forma manual com enxada, o que por norma a mistura pode ser feita de forma mecânica, porém o equipamento disponível era a betoneira, que não é adequada para misturar solo-cimento como sugere Freire (2003). Após homogeneizado foi feito o processo de umectação da mistura com regador, processo descrito na Figura 18.

A umidade adequada é identificada de forma empírica, como descrito por ABCP (2000), onde é tomado um pouco da amostra úmida e pressionada com a mão, ao abrir a palma deve

ser visto as marcas dos dedos na amostra, observado isso, solta-se a amostra comprimida à uma altura de cerca de 1 metro, devendo se esfarelar ao atingir o solo, como visto na Figura 19.

Com a massa pronta, a mesma é colocada em uma prensa de sistema hidráulico para fabricação de tijolos, com capacidade de compactação de até 6 toneladas, com uma caixa de depósito de 64 litros, com medidas de moldagem de (25 x 12,5 x até 8) cm, identificada na Figura 20.

Figura 18 - processo de mistura: a) determinação da massa dos materiais, b) espalhamento, c) mistura homogênea e umectada.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 19 – Verificação da umidade da mistura: a) material pressionado, b) amostra atingindo o chão.



Fonte: ABCP (2000) versus Autoria própria (2022).

Figura 20 - Prensa de fabricação dos tijolos.



Fonte: Autoria própria (2022).

A massa é colocada na caixa de depósito na máquina, e depois transferida para a área que é feito a prensagem resultando na moldagem do tijolo, como na Figura 21.

Figura 21 - Tijolo fabricado.



Fonte: Autoria própria (2022).

Depois da fabricação ele deve ser retirado com cuidado, e colocado em local adequado para iniciar o processo de cura. Para esse trabalho os mesmos foram colocados sobre paletes de madeira, como na Figura 22, e cobertos com plástico para que a perda de umidade fosse baixa. A cura feita foi a caracterizada como cura úmida, como sugere A Cartilha Produção de Tijolos de Solo-Cimento, onde os tijolos são cobertos com plástico e umedecidos sucessivamente por um período de 7 dias (IEP, 2016), nesse trabalho os mesmos eram molhados 3 vezes ao dia, pela manhã, a tarde e à noite. Depois desse período, deixa-se os tijolos curarem sozinhos, até as idades estipuladas.

Figura 22 - Tijolos em processo de cura.



Fonte: Autoria própria (2022).

4.7 REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Segundo a norma NBR 8492 (ABNT, 2012), para os ensaios físico-mecânicos de tijolos solo-cimento, são separados um total de 10 unidades, sendo 7 para o ensaio de resistência à compressão simples e 3 para o ensaio de absorção de água.

4.7.1 Resistência à Compressão

No ensaio de resistência à compressão os corpos de prova devem ser moldados a partir das metades de cada tijolo, sobrepostas uma sobre a outra, fixadas por meio de pasta de cimento, seguindo o procedimento da norma NBR 8491 (ABNT, 2012). Para cortar os tijolos ao meio, utilizou-se uma máquina lixadeira com disco de corte, retirando também as reentrâncias externas, como mostrado na Figura 23.

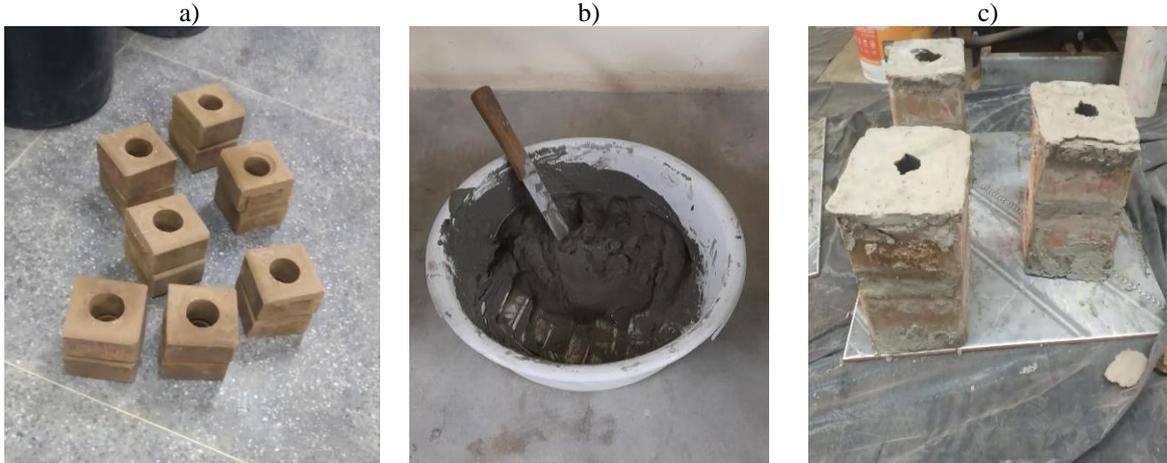
Figura 23 - Processo de corte dos tijolos. a) corte ao meio, b) retirada das reentrâncias.



Fonte: Autoria própria (2022).

A fixação de uma metade sobre a outra foi feita através de pasta de aglomerante, utilizando cimento CP II-Z-32, com uma relação água cimento de 0,3, utilizada também no capeamento das faces para melhor distribuição dos esforços sobre o corpo de prova, como visto na Figura 24.

Figura 24 - Etapas de moldagem dos corpos de prova:
a) tijolos cortados, b) pasta de cimento, c) corpos de prova moldados.



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a secagem da pasta, que leva em torno de 12 horas, os corpos de prova foram submersos em água por um período de no mínimo 6 horas, posteriormente foram secos superficialmente com pano e colocados à prova na prensa hidráulica, localizada no laboratório de estruturas do IFPB-Campus Cajazeiras, como pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 - Etapas do ensaio de compressão: a) corpos submersos em água, b) prensa hidráulica.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para o cálculo da resistência à compressão é utilizado a Equação 2.

$$f_t = \frac{F}{S} \quad (2)$$

Onde:

f_t = resistência à compressão simples (MPa);

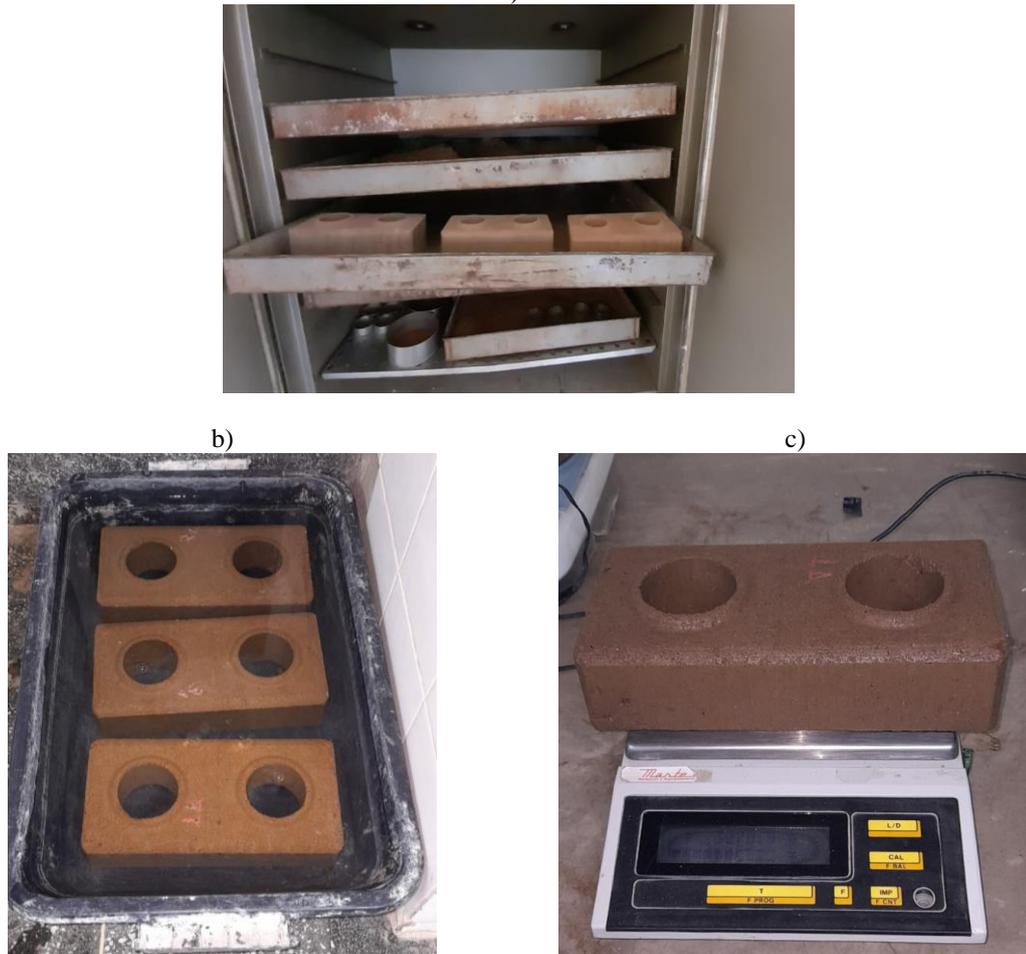
F = carga de ruptura (N);

S = área de aplicação da carga, sem descontar furos (mm²).

4.7.2 Absorção de Água

Para o ensaio de absorção de água, os tijolos passam por um processo de secagem prévia em estufa, por 24 horas, até atingirem massa constante, determinando a massa ao retirar da estufa e posteriormente colocando-os submerso em água por um período de 24 horas, secando superficialmente a amostra e determinando sua massa, como na Figura 26.

Figura 26 - Etapa do ensaio de absorção:
a) secagem em estufa, b) submersão em água, c) pesagem em balança.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para o cálculo da absorção de água aplica-se a Equação 2.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A = Absorção de água (%);

m_1 = massa seca do corpo de prova (g)

m_2 = massa do corpo de prova saturado (g).

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse item são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir dos procedimentos e ensaios realizados.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Esta seção apresenta os valores da análise dos solos, caracterizando as propriedades físicas e sua respectiva classificação. As amostras 1 e 2, foram ensaiadas igualmente, mas apenas a amostra 2 foi selecionada por se encontrar nos parâmetros de recomendação da norma para confecção de tijolo ecológico. Dessa forma, os resultados apresentados, referem-se apenas à caracterização da amostra 2.

5.1.1 Massa Específica do Solo

Após a realização do ensaio descrito na norma NBR 6458 (ABNT, 2016), obteve-se o valor de 2,68 g/cm³ para massa específica do solo.

5.1.2 Limites de Consistência

Os valores obtidos nos ensaios de limites de liquidez e plasticidade são apresentados no Tabela 1, bem como o comparativo com os indicados na norma NBR 10833 (ABNT, 2012) para utilização do solo no objeto de estudo desse trabalho.

Tabela 1 - Limites de Consistência e Índices de Plasticidade.

Parâmetro	Solo	Solo + RCMG (5 %)	Solo + RCMG (10 %)	Solo + RCMG (15 %)	NBR 10833
Limite de Liquidez (LL)	27%	27 %	27 %	28 %	≤ 45%
Limite de Plasticidade (LP)	17%	22 %	24 %	27 %	-
Índice de Plasticidade (IP)	10%	5 %	3 %	1 %	≤ 18%

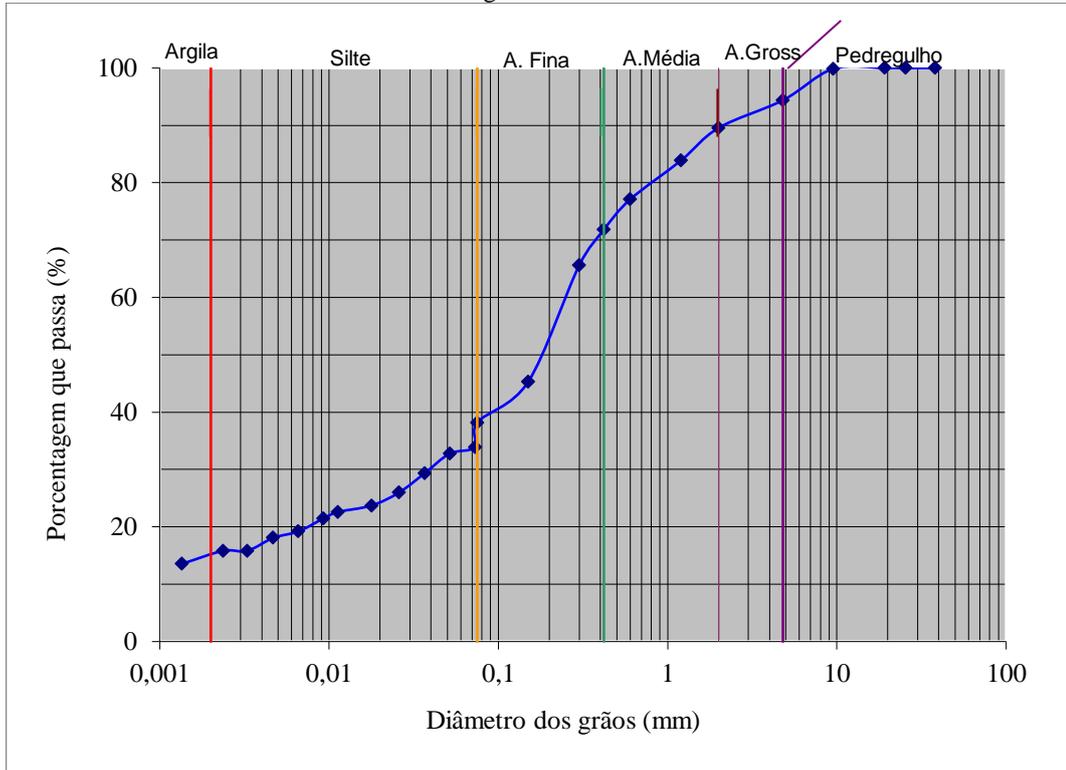
Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando os resultados percebe-se que houve uma constância e pequeno aumento no limite de liquidez e um aumento considerável no limite de plasticidade, e como consequência tem-se um índice de plasticidade menor, assim a adição do resíduo torna a mistura menos plástica

5.1.3 Análise Granulométrica

Através do ensaio de granulometria por meio dos métodos de peneiramento e sedimentação, obteve-se a distribuição de grãos e a porcentagem de cada faixa granulométrica do solo. O Gráfico 3 apresenta a curva granulométrica do solo selecionado.

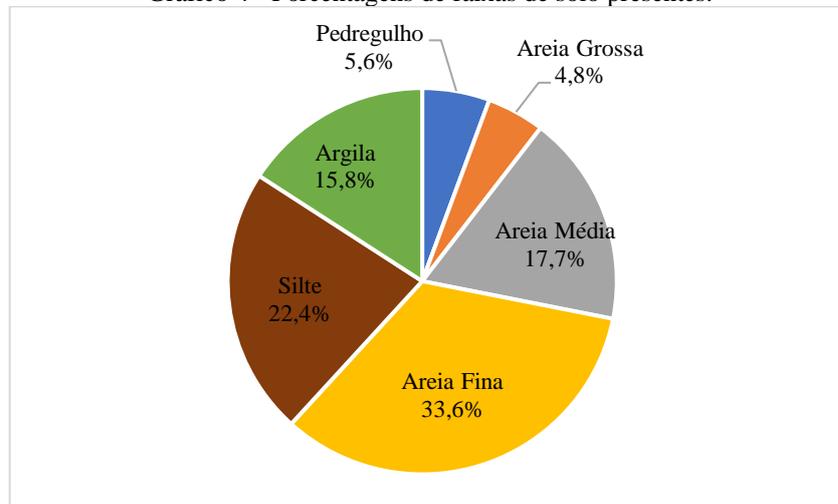
Gráfico 3 - Curva granulométrica da amostra 2.



Fonte: Autoria própria (2022).

O Gráfico 4 apresenta um resumo dos resultados percentuais das frações de solos, obtidos para a granulometria do solo.

Gráfico 4 - Porcentagens de faixas de solo presentes.



Fonte: Autoria própria (2022).

Verifica-se que as porcentagens maiores são de areia (56,1% em sua totalidade) e silte (22,4%), portanto, segundo Caputo (2012), pelo Sistema Unificado de Classificação (SUC), o solo é classificado como um solo arenoso, mais precisamente uma areia siltosa, definido pela sigla SM, com referência a S de *sand* (areia) e M de *mo* (silte).

A Tabela 2 faz um comparativo das porcentagens passantes em cada peneira para os valores encontrados e os indicados na norma NBR 10833 (ABNT, 2012) para utilização do solo.

Tabela 2 - Comparativo entre os valores obtidos e os indicados em norma.

Abertura de Peneira (mm)	Solo	NBR 10833
4,75	94,4 %	100 %
0,075	38,2 %	10 % a 50 %

Fonte: Autoria própria (2022).

Para ser propício à aplicação do solo na mistura, antes do uso, o mesmo é passado na peneira com abertura de 4,75 mm, com o material retido (pedregulho) descartado.

5.1.4 Retração do Solo

Após o ensaio da caixa para retração do solo, obteve-se uma retração de 1,6 cm, com 0,8 cm retraindo em cada extremidade da caixa, como visto na Figura 27.

Figura 27 - Verificação da retração após 7 dias.



Fonte: Autoria própria (2022).

De acordo com ABCP (2000), o máximo que o solo pode retrair é 2 cm, portanto o solo é adequado para uso em dosagens de solo-cimento.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FINOS

Os finos utilizados na mistura foram o aglomerante cimento Portland CP II-Z e o RCMG como material inerte, a Tabela 3 mostra os valores obtidos para massa específica de ambos.

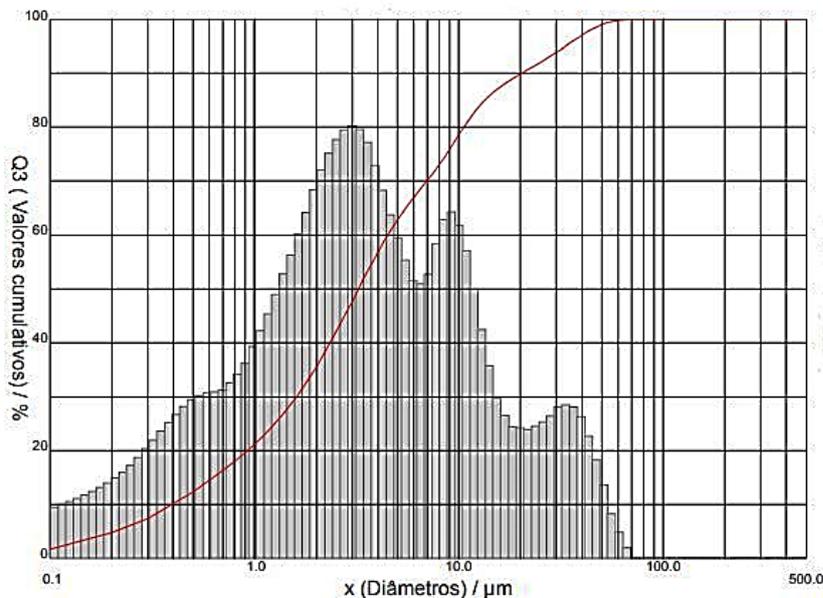
Tabela 3 - Massa específica dos finos.

Material	Massa Específica (g/cm ³)
Cimento Portland CP II-Z	3,01
RCMG	2,71

Fonte: Autoria própria (2022).

Para o resíduo foi feita a análise granulométrica a laser, em laboratório da Universidade Federal da Paraíba, obtendo o diâmetro médio dos grãos de 0,074 mm, com a distribuição granulométrica apresentada na Figura 28.

Figura 28 - Distribuição granulométrica do RCMG.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados obtidos com a verificação da atividade pozolânica são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Pozolanidade do RCMG.

Corpos de prova	Resistência obtida (MPa)	Resistência por norma (MPa)
1	6,12	≥ 6 MPa
2	6,89	
3	6,89	

Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados apresentados demonstram que todos os corpos de prova atingiram a resistência mínima indicada em norma, logo, para esse método de verificação o resíduo apresentou atividade pozolânica, diferindo das conclusões das referências bibliográficas supracitadas.

Os índices de finura para o cimento e o resíduo obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Índices de finura dos finos.

Material	Índice de finura
Cimento Portland CP II-Z	10,8 %
RCMG	54,2 %

Fonte: Autoria própria (2022).

Através dos resultados percebe-se que o RCMG possui considerável quantidade de grãos maiores que o do cimento, logo o material usado na mistura fora apenas o passado na peneira de abertura 0,075 mm.

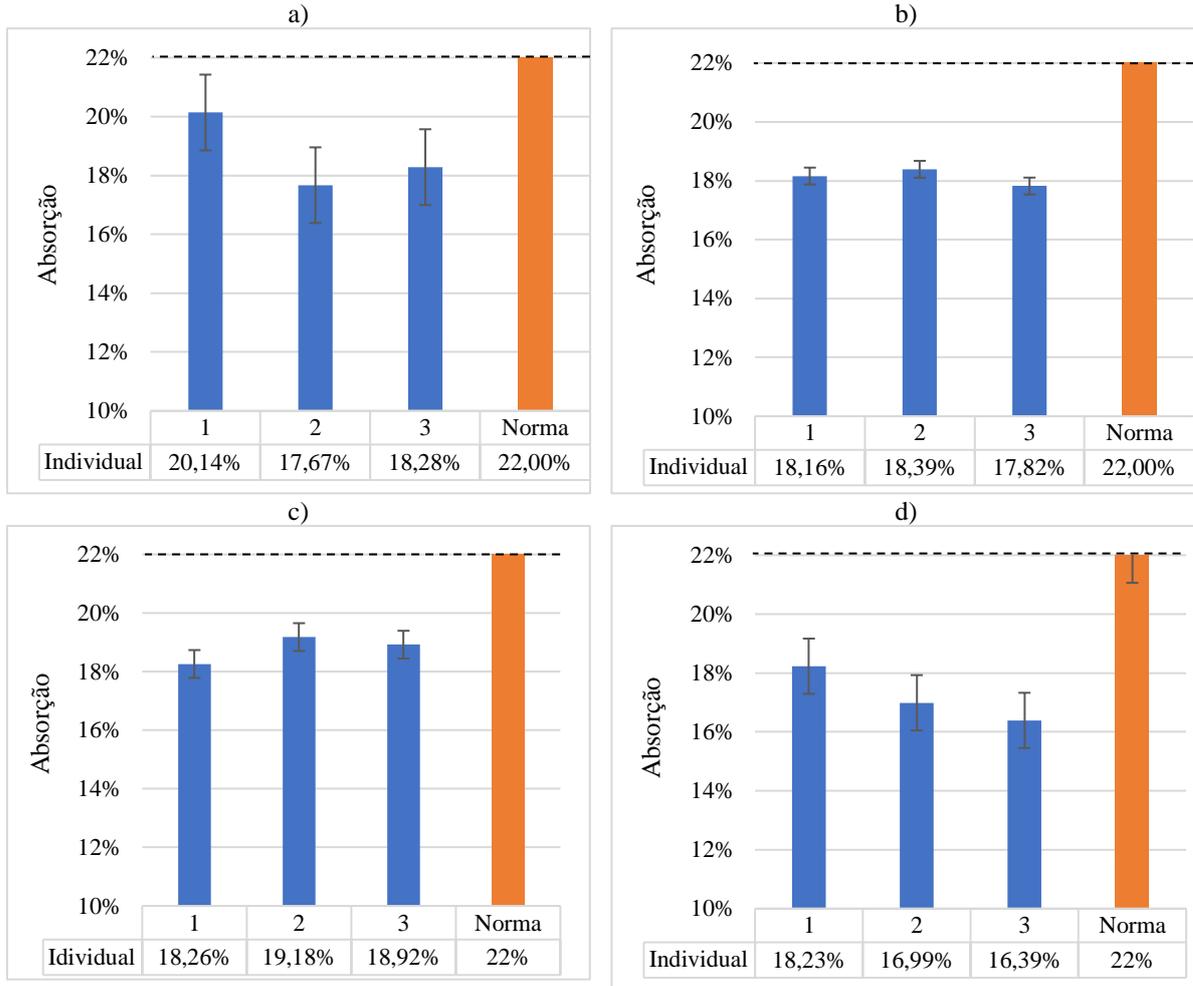
5.3 RESULTADOS FÍSICO-MECÂNICOS DOS TIJOLOS

Neste item estão abordados os resultados obtidos pelos ensaios de absorção de água e resistência à compressão dos tijolos prensados de solo cimento.

5.3.1 Absorção de Água

Os resultados individuais, para 7 dias, dos 3 corpos de prova para absorção de água em cada traço são mostrados nas representações que compõem o Gráfico 5, bem como o comparativo com o indicado pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012). As representações (a), (b), (c) e (d) se referem a 0%, 5%, 10% e 15% de substituição, respectivamente.

Gráfico 5 - Absorção para cada corpo de prova em cada traço: a) T0, b) T5, c) T10, d) T15.

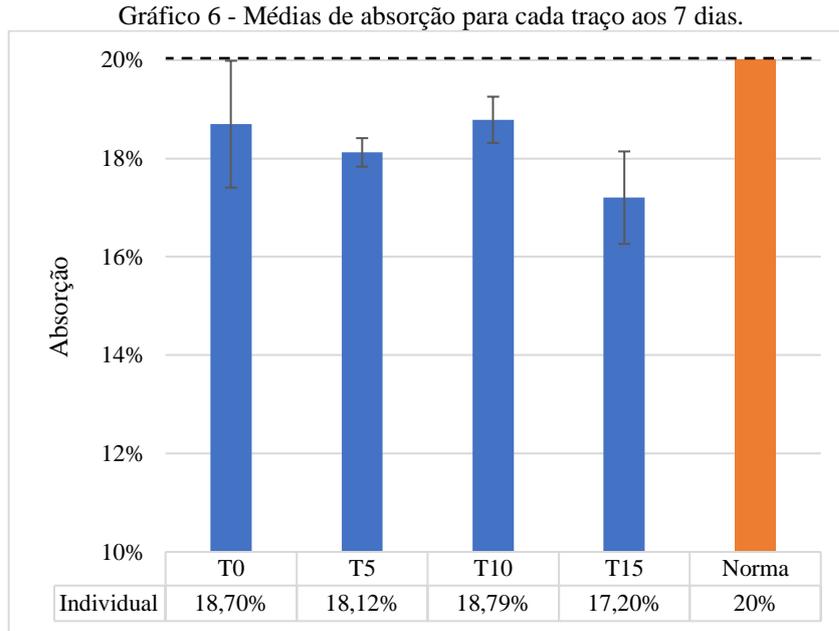


Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando os resultados obtidos, todos os corpos de prova de cada traço estiveram dentro do limite indicado em norma.

O Gráfico 6 mostra os valores médios para cada traço, para o período de 7 dias, bem como o seu comparativo com a média indicada em norma.

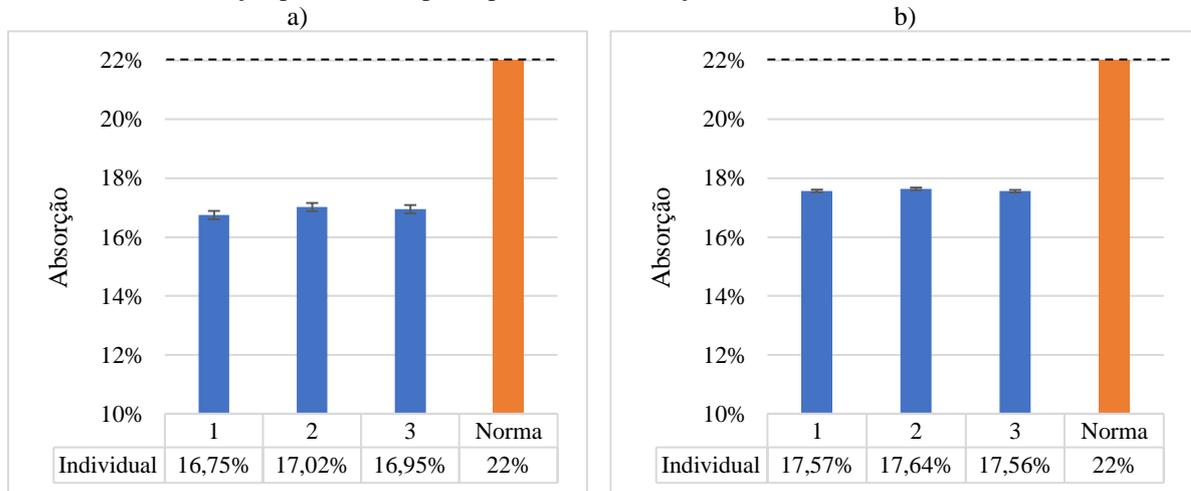
Os resultados demonstram que todos os traços obtiveram resultados satisfatórios, abaixo do máximo indicado em norma, com o traço T15 sendo o de melhor desempenho, possuindo menor nível de absorção, o que pode ser explicado pelo melhor preenchimento dos poros por parte do material inerte (RCMG), fazendo com que os tijolos fiquem menos porosos, fenômeno que pode ser potencializado devido à atividade pozolânica do RCMG, verificada anteriormente.

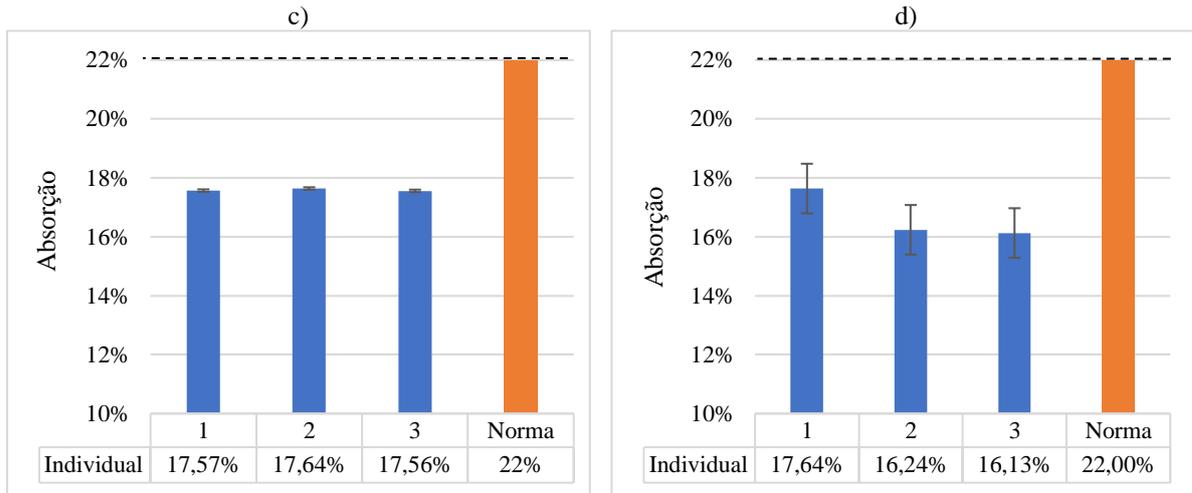


Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados individuais, para 28 dias, dos 3 corpos de prova para absorção de água em cada traço são mostrados nas representações que compõem o Gráfico 7, bem como o comparativo com o indicado pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012).

Gráfico 7 - Absorção para cada corpo de prova em cada traço, aos 28 dias: a) T0, b) T5, c) T10, d) T15.

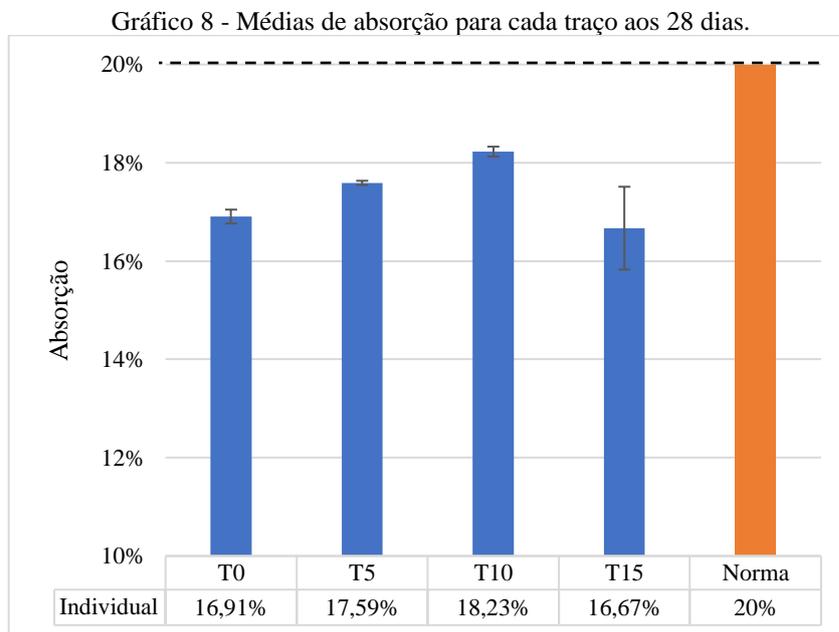




Fonte: Autoria própria (2022).

Analisando os resultados obtidos, todos os corpos de prova de cada traço estiveram dentro do intervalo indicado em norma, sendo os de melhores resultados, os pertencentes ao traço T15, por possuírem maior quantidade de finos, havendo um maior preenchimento dos vazios, através do mesmo fenômeno ocorrido aos 7 dias de cura.

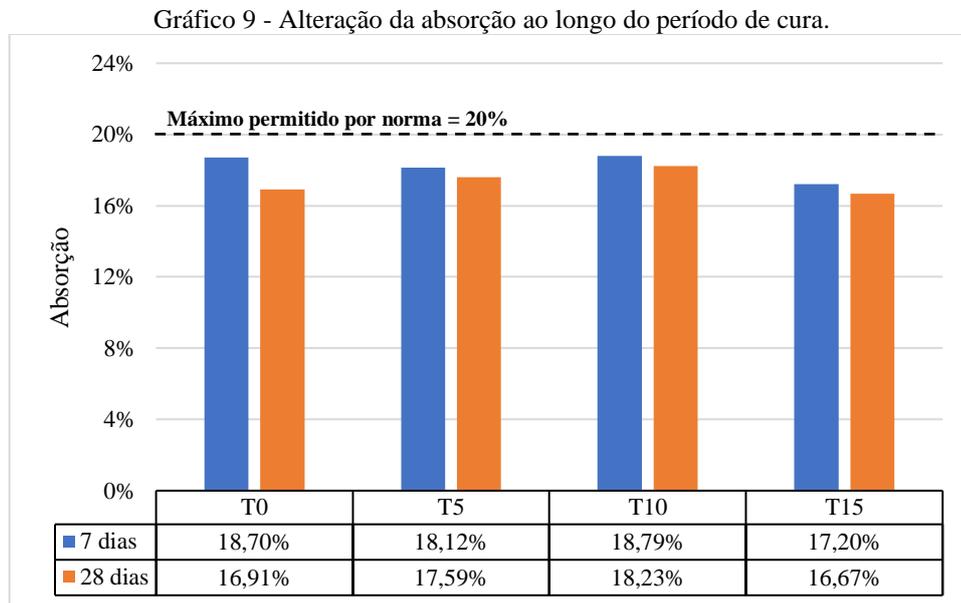
O Gráfico 8 mostra os valores médios para cada traço, para o período de 28 dias, bem como o seu comparativo com a média indicada em norma.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados demonstram que todos os traços obtiveram resultados satisfatórios, abaixo do máximo indicado em norma, com o traço T15 sendo o de melhor desempenho devido a, como supracitado, ter os vazios mais bem preenchidos pela presença do RCMG.

O Gráfico 9 mostra a alteração das médias na absorção ao longo do período de cura dos tijolos, de 7 dias a 28 dias.



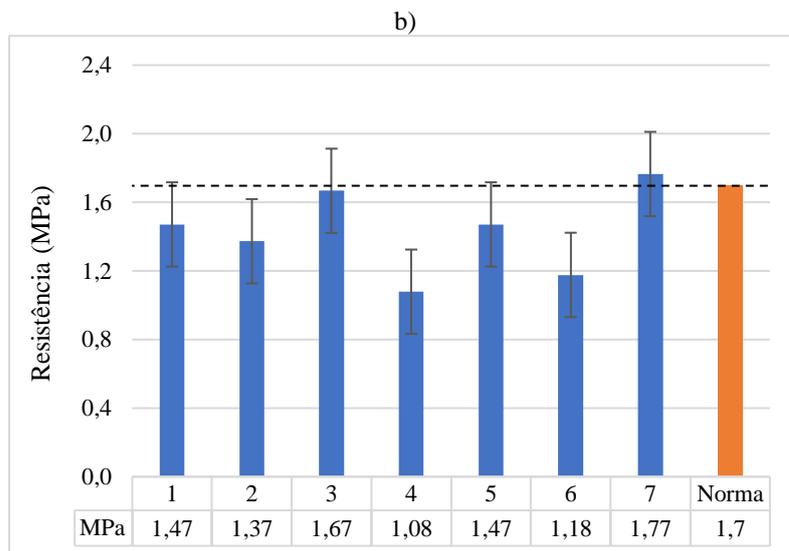
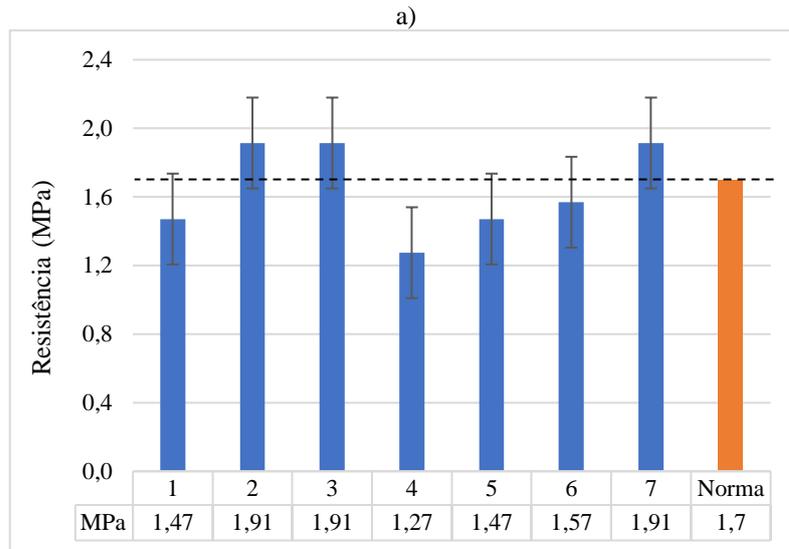
Fonte: Autoria própria (2022).

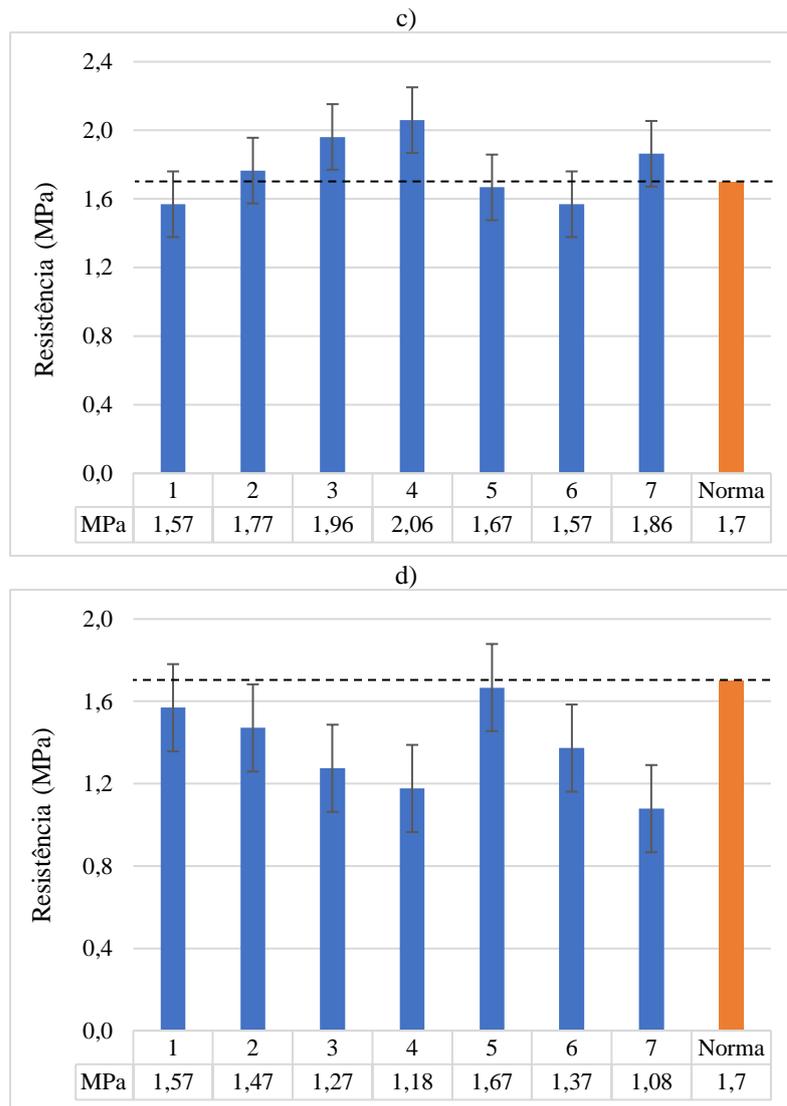
Os resultados demonstram que ao longo do tempo os níveis de absorção foram diminuindo, em função do maior tempo de estabilização da mistura solo-cimento, o que pode ser explicado pelo fenômeno de retração do cimento ao longo do tempo, aumentando a densidade do mesmo à medida que progride o processo de hidratação (BAUER, 2008).

5.3.2 Resistência à Compressão Simples

Os resultados individuais, para 7 dias, dos 7 corpos de prova para resistência à compressão em cada traço são apresentados nas representações que compõem o Gráfico 10, bem como o comparativo com o indicado pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012).

Gráfico 10 - Resistências individuais à compressão aos 7 dias: a) T0, b) T5, c) T10, d) T15.





Fonte: Autoria própria (2022).

O Quadro 5 apresenta um resumo das quantidades de corpos de prova que atingiram o valor mínimo segundo a norma NBR 8492 (ABNT, 2012).

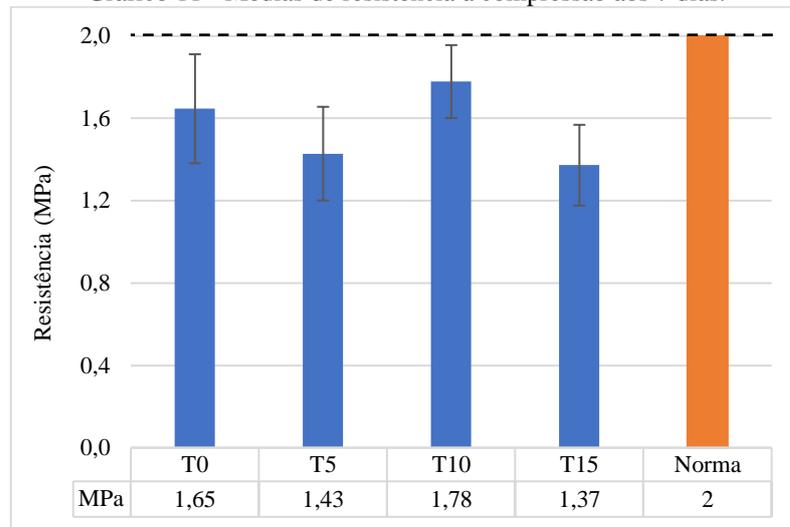
Quadro 5 - Relação de corpos de prova que atingiram a resistência mínima à compressão, aos 7 dias.

Traço	Quantidade de amostras
T0	3 (42,86 %)
T5	1 (14,28 %)
T10	4 (57,14 %)
T15	0 (0%)

Fonte: Autoria própria, (2022).

O Gráfico 11 mostra os valores médios para cada traço, para o período de 7 dias, bem como o seu comparativo com a média indicada em norma.

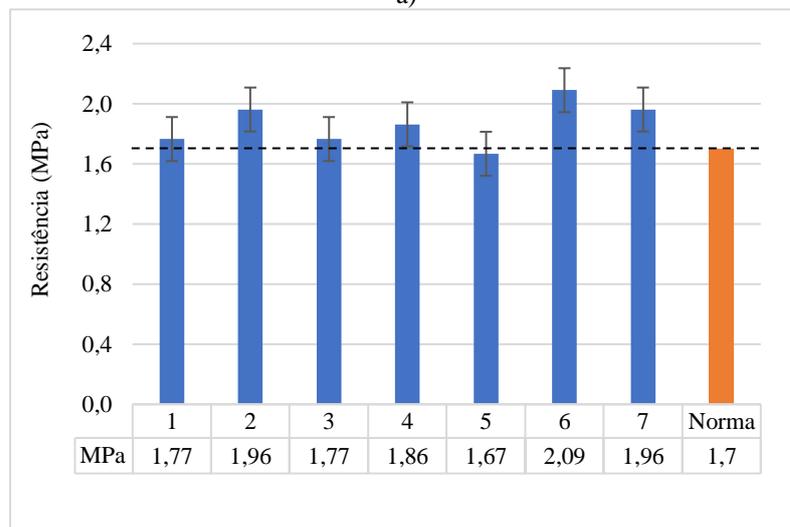
Gráfico 11 - Médias de resistência à compressão aos 7 dias.



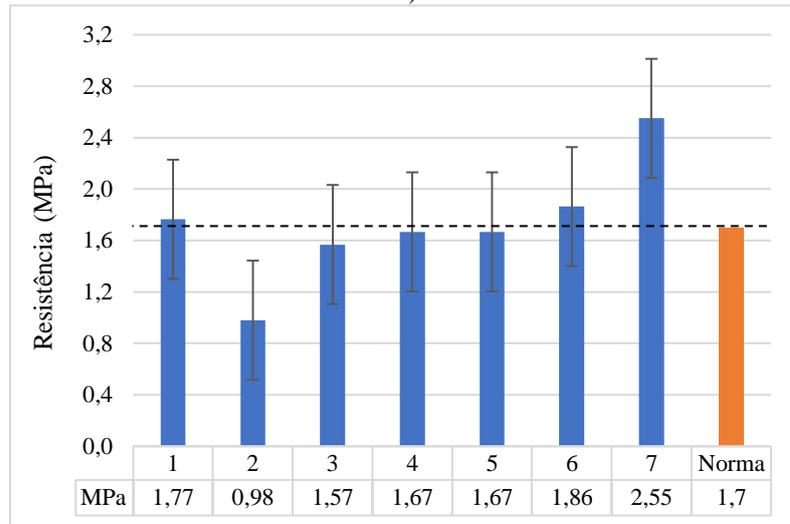
Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados individuais, para 28 dias, dos 7 corpos de prova para resistência à compressão em cada traço são mostrados nas representações que compõem o Gráfico 12, bem como o comparativo com o indicado pela norma NBR 8491 (ABNT, 2012).

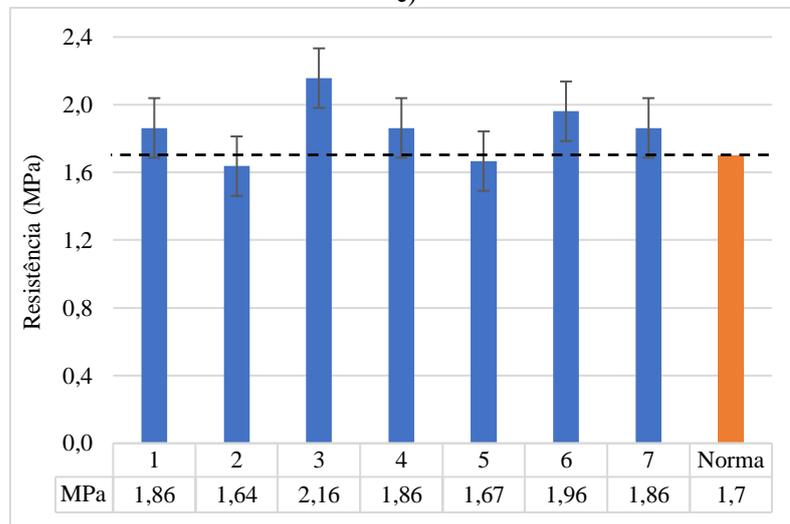
Gráfico 12 - Resistências individuais à compressão aos 28 dias: a) T0, b) T5, c) T10, d) T15.

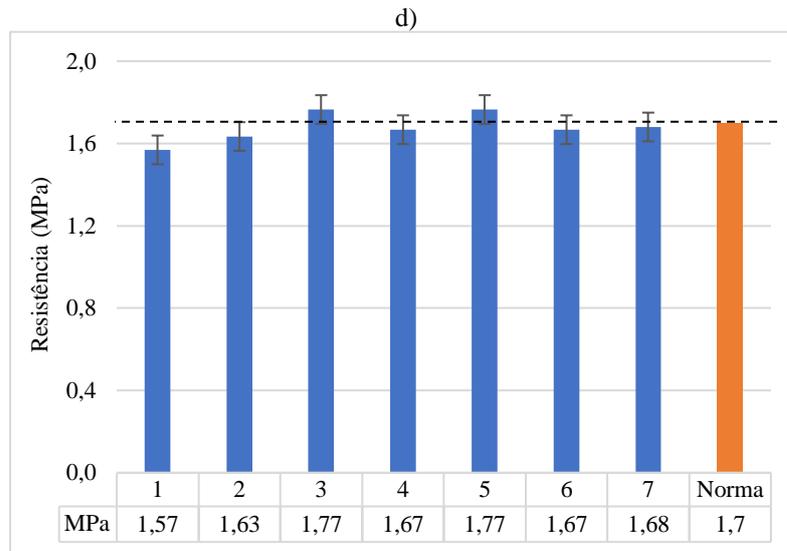


b)



c)





Fonte: Autoria própria (2022).

O Quadro 6 apresenta um resumo das quantidades de corpos de prova atingindo o valor mínimo segundo a ABNT NBR 8492 (2012), com 28 dias de idade.

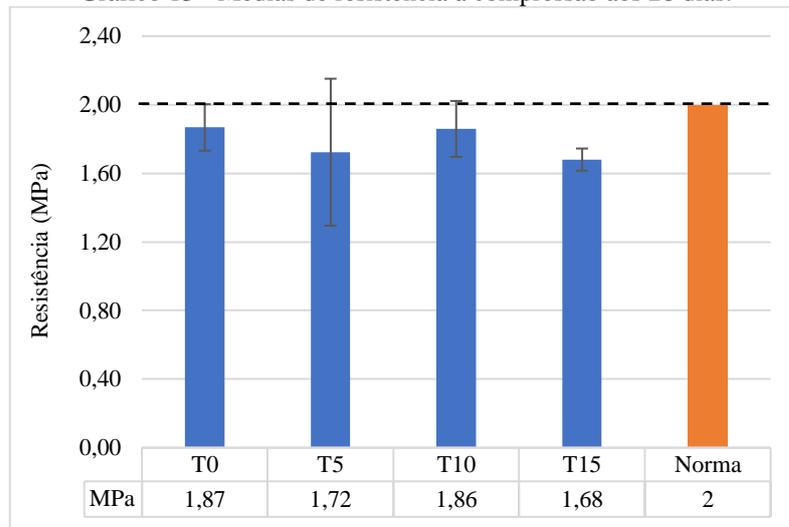
Quadro 6 - Relação de corpos de prova que atingiram a resistência mínima, aos 28 dias.

Traço	Quantidade de corpos de prova atingindo a resistência mínima
T0	6 (85,71 %)
T5	2 (28,57 %)
T10	5 (71,43 %)
T15	2 (28,57 %)

Fonte: Autoria própria, (2022).

O Gráfico 13 mostra os valores médios para cada traço, para o período de 28 dias, bem como o seu comparativo com a média indicada em norma.

Gráfico 13 - Médias de resistência à compressão aos 28 dias.

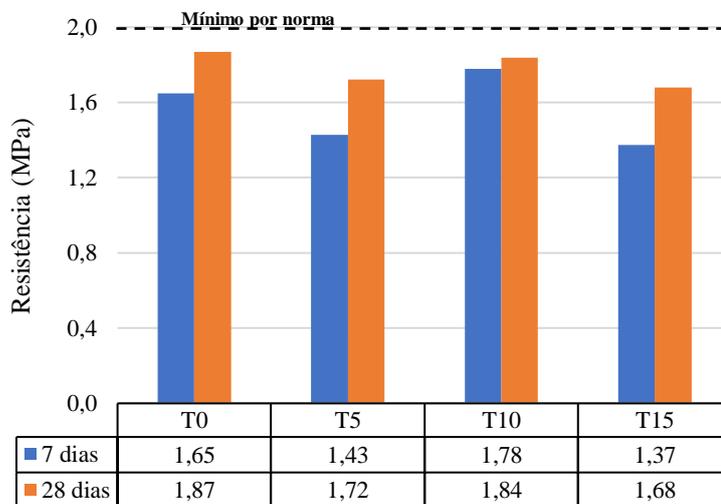


Fonte: Autoria própria (2022).

Com os resultados conclui-se que nenhum dos traços atingiram o valor médio mínimo por norma, obtendo maior e menor resistência os traços T0 e T15, respectivamente. O fenômeno

O Gráfico 14 mostra o avanço da resistência ao longo do período de cura dos tijolos, de 7 dias a 28 dias.

Gráfico 14 - Aumento da resistência à compressão ao longo do tempo.

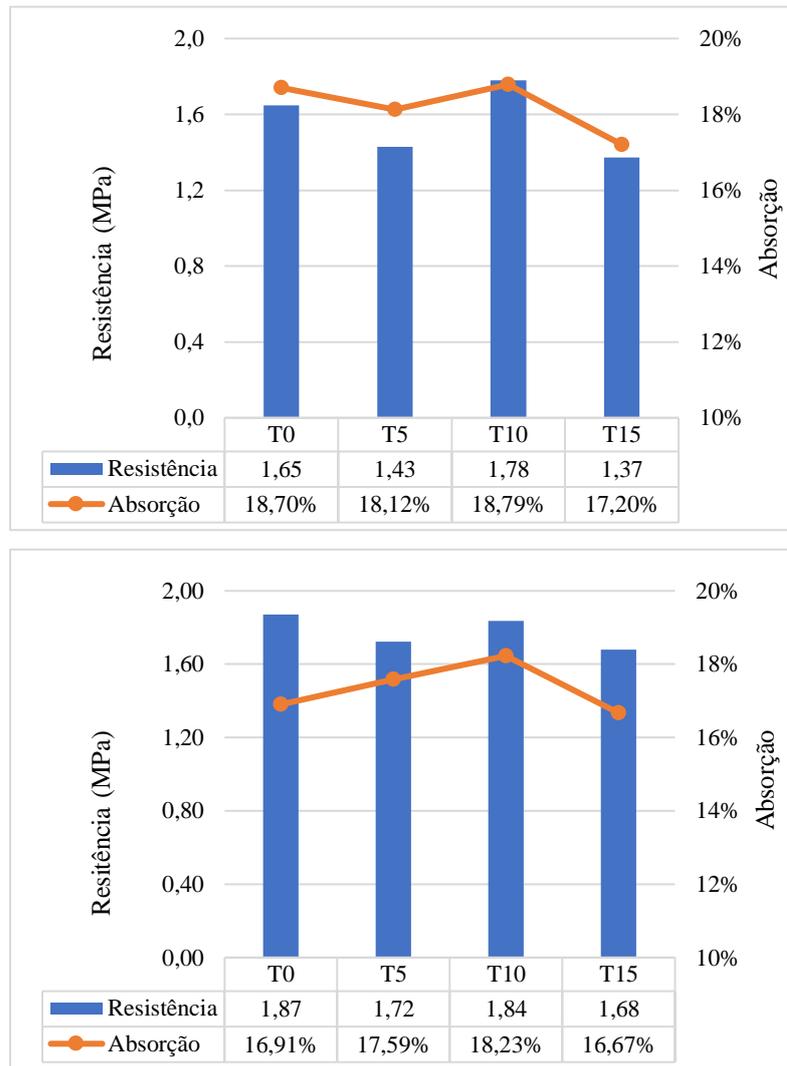


Fonte: Autoria própria (2022).

Através dos resultados percebe-se que houve um aumento na resistência a compressão para cada traço ao longo do tempo, o que era esperado levando em consideração as características do aglomerante utilizado.

O Gráfico 15 apresenta uma correlação para cada idade, 7 e 28 dias, entre resistência à compressão e absorção.

Gráfico 15 - Relação resistência à compressão e absorção: a) com 7 dias e b) com 28 dias.



Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se que aos 7 dias o nível de absorção teve um comportamento semelhante aos resultados para resistência, à medida que a resistência à compressão aumenta a absorção segue o mesmo comportamento, obtendo resultados contraditórios pois o nível de resistência poderia ser o inverso da absorção, o mesmo vale para situações em que há a diminuição da resistência, fenômeno que pode ser explicado pelo aumento do resíduo na dosagem, havendo um maior preenchimento dos vazios e diminuindo a absorção, ao mesmo tempo que há uma diminuição na quantidade de cimento, havendo uma redução na resistência. Percebe-se também que a medida que a mistura solo-resíduo fica mais plástica, como verificado na Tabela 1, a resistência tem um certa diminuição em relação ao traço de referência T0, perceptível principalmente no traço T15.

Para 28 dias, há uma diferença no comportamento, de T0 para T5 há uma diminuição na resistência, ao mesmo tempo que há um aumento na absorção, após isso segue um comportamento semelhante aos 7 dias.

5.3.3 Análise Estatística

Para verificar a influência significativa dos valores nos resultados de resistência e absorção, baseado Casella e Berger (2002), foi aplicado a Análise de Variância (ANOVA), com Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), e quando necessário, os Testes de Tukey e Duncan em um nível de significância de 5%, esses desenvolvidos com base em Gomes (1990) com os cálculos feitos no *software* Excel.

A princípio é lançada a hipótese de que todas as médias são estatisticamente iguais entre si, aplicando a análise de variância para os resultados de absorção, já apresentados graficamente, obtemos os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise de variância para absorção aos 7 dias.

FV	GL	SQ	MQ	FC	FTab
Variedades	3	4,77	1,59	0,01	4,07
Resíduos	8	2277,67	284,71		
Total	11	2282,44			

Fonte: Autoria própria (2022).

Onde:

FV - Fator de variação;

GL - Grau de liberdade;

SQ - Soma dos quadrados;

MQ - Média dos quadrados.

O fator FTab é obtido através da Tabela 1 em Gomes (1990), em que, quando se tem $FC > FTab$ rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais, logo a ANOVA aplicada aos resultados de absorção de água para 7 dias resulta que as médias obtidas são estatisticamente iguais entre si. Com isso, não se faz necessário a aplicação dos Testes de Tukey e Duncan à fim de verificar se há a diferença entre as médias, comparando pares de valores.

A mesma análise foi feita para a absorção aos 28 dias, com os resultados apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise de variância para absorção aos 28 dias.

FV	GL	SQ	MQ	FC	FTab
Variedades	3	4,46	1,49	0,01	4,07
Resíduos	8	2065,24	258,15		
Total	11	2069,69			

Fonte: Autoria própria (2022).

Com $FC < FTab$, as médias para a absorção aos 28 dias também são estatisticamente iguais.

Na Tabela 8 é apresentado os resultados da análise estatística para a resistência à compressão aos 7 dias.

Tabela 8 - Análise de variância da resistência à compressão aos 7 dias.

FV	GL	SQ	MQ	FC	FTab
Variedades	3	0,75	0,25	4,74	3,01
Resíduos	24	1,27	0,053		
Total	27	2,03			

Fonte: Autoria própria (2022).

Como foi obtido $FC > FTab$, rejeita-se a hipótese de que as médias são todas iguais e que pelo menos há uma média estatisticamente diferente das demais. Para identificar quais médias são diferentes entre si foi aplicado os Testes de Tukey e Duncan. O primeiro passo é colocando os valores em ordem decrescente, conforme mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores decrescente das médias das resistências à compressão de cada traço.

Traço	Valor da Média (MPa)
T10	1,78
T0	1,65
T5	1,43
T15	1,37

Fonte: Autoria própria (2022).

No teste de Tukey é avaliado a igualdade estatística entre pares de médias (GOMES, 1990), baseado na diferença mínima significativa (Δ) de todo o conjunto. A Tabela 10 traz as diferenças entre os pares de médias para a resistência à compressão aos 7 dias.

Tabela 10 - Diferença entre os valores das médias 2 a 2.

Contrastes 2 a 2	Diferença
T10 – T0	0,13
T10 – T5	0,35
T10 – T15	0,41
T0 – T5	0,22
T0 – T15	0,28
T5 – T15	0,06

Fonte: Autoria própria (2022).

A diferença entre médias que for menor que a diferença significativa calculada de 0,128 (valos de referência do método para os dados apresentados), caracteriza a igualdade estatística entre os pares analisados. Logo os traços T5 e T15 são estatisticamente iguais, enquanto que os traços T0 e T10, são diferentes entre si e entre os demais, com o traço T10 apresentando melhor desempenho.

Segundo a literatura, no Teste de Duncan é feito o comparativo dos pares a cada distâncias de 2, 3 e 4 médias, com cada uma delas apresentando diferentes diferenças mínimas significativas, D_2 , D_3 e D_4 , como trabalhado na Tabela 11.

Tabela 11 - Diferença entre as médias para o Teste de Duncan.

D2 = 0,09		D3 = 0,101		D4 = 0,103	
Contraste de médias	Diferença	Contraste de médias	Diferença	Contraste de médias	Diferença
T10 – T0	0,13	T10 – T5	0,35	T10 – T15	0,41
T0 – T5	0,22	T0 – T15	0,28		
T5 – T15	0,06				

Fonte: Autoria própria (2022).

Logo, observa-se resultados semelhantes aos apresentados em Tukey, com T5 e T15 semelhantes entre si e T0 e T10 diferentes entre si e os demais, com T10 apresentando melhores resultados. A Tabela 12 apresenta a ANOVA para a resistência aos 28 dias.

Tabela 12 - Análise de variância da resistência à compressão aos 28 dias.

FV	GL	SQ	MQ	FC	F_{Tab}
Variedades	3	0,19	0,06	0,95	3,01
Resíduos	24	1,63	0,068		
Total	27	1,82			

Fonte: Autoria própria (2022).

Com $FC < F_{tab}$, temos que as médias de resistência aos 28 dias são estatisticamente iguais entre os grupos avaliados. Nesse caso, podia-se escolher qualquer um dos traços como o mais adequado, sendo que economicamente e ecologicamente o T15 seria o mais viável, visto que a quantidade de cimento empregada seria menor, ou optando-se pelo traço T10 que apresenta maior resistência dentre os que utilizaram o resíduo em sua composição.

6 CONCLUSÃO

O resíduo usado nesse trabalho, pode ter suas propriedades variadas de acordo com a localidade de exploração, variando em composição química e granulometria, como visto em outras pesquisas, logo, em outras regiões, os resultados podem diferir com os apresentados neste trabalho. O mesmo acontecendo com o solo que não teve análise química como fruto dessa investigação.

Buscando analisar a viabilidade da substituição do cimento pelo resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG), verificou-se que é possível atingir valores satisfatórios ou próximos do esperado, apesar de que alguns parâmetros comparativos entre os materiais não serem próximos, as características de um podem ter sido benéficas para o bom rendimento do outro, a exemplo, o fato do resíduo possuir características de material inerte e podendo preencher vazios no solo durante o processo de mistura e cura, ou trazendo uma melhoria na sua granulometria com o efeito do empacotamento de partículas, onde uma menor quantidade de cimento poderia ser empregada.

Essa adequação pode ser melhor observada com o passar do tempo, pois com um maior período de cura os resultados obtiveram certa igualdade, apesar das diferentes quantidades de cimento onde se esperava que em proporções maiores trariam resultados melhores, estes sendo observados de forma numérica, mas que sobre a análise estatística, onde cada média foi analisada baseando-se nos resultados como um todo, percebeu-se um comportamento semelhante ou até mesmo melhor, como na absorção onde a porcentagem menor foi observada no traço de maior presença de resíduo.

Algumas hipóteses não se confirmaram, como a média dos valores de resistência não atingindo os indicados em norma, o que pode ser explicado pela presença de certos minerais visíveis presentes no solo, como a mica, estes possuindo baixa resistência, o que pode impedir de o solo ter uma melhor desenvoltura.

Trouxe considerada contribuição técnica para a formação nessa abrangente área da engenharia civil, acreditando-se que servirá de base para aplicações diversas. Como sugestão para trabalhos futuros, aconselhamos analisar percentuais diferentes de substituição e uso de outros tipos de solos com diferentes granulometrias, bem como a análise químicas e mineralógicas de cada material. Também, uma avaliação mais aprofundada a respeito da pozolanicidade do RCMG, visto que há outros métodos que podem ser usados para essa verificação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Nuno; BRANCO, Fernando; SANTOS, José Roberto. Recycling of stone slurry in industrial activities: application to concrete mixtures. **Building and Environment**, v. 42, n. 2, set. 2005. Disponível em: <https://sci-hub.se/10.1016/j.buildenv.2005.09.018>. Acesso em: 23 jul. 2022.

APOLINÁRIO, Elenice Carmo de Abreu. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCMG) nas propriedades de argamassas de cimento Portland**. 2014. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/15276/1/DISSERTA%20c3%87AO%20ENCADERNADA%2012-6-2014.pdf>. Acesso em: 19 maio 2022.

ARAÚJO, Matheus Frota; GURGEL, Marcelo Tavares. **Tijolo ecológico com adição de frações do pó de brita granítica e do mármore**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA, Mossoró, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/6862/1/MatheusFA_ART.pdf. Acesso em: 27 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA – ABCERAM. **Informações técnicas – processos de fabricação**. [202-?]. Disponível em: <https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND-ABCP. **BT-111**: fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais. São Paulo, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. 2021. Disponível em <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em 31 ago. 2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5751**: materiais pozolânicos: determinação da atividade pozolânica com cal aos 7 dias. Rio de Janeiro. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 6457**: amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6458**: grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6459**: solo - determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7180**: solo - determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7181**: solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8491**: tijolo de solo-cimento - requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8492**: tijolo de solo-cimento - análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10833**: fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11579**: cimento Portland: determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 12653**: materiais pozolânicos - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos - blocos e tijolo para alvenarias - parte 1: requisitos. ABNT. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16605**: cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16814**: adobe: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA - ANICER. **Blocos e tijolos**. [2022?] ANICER. Disponível em: <https://www.anicer.com.br/produtos/blocos/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**, vol. 2. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CAMELO, Murilo M. Sociedade de consumo e produção industrial em massa: influências na sustentabilidade ambiental. **Revista de Direito da Faculdade GUANAMBI**, p. 42-49, 2015. Disponível em: <http://revistas.faculdadeguanambi.edu.br/index.php/Revistadedireito/article/view/17/95>. Acesso em: 18 abr. 2022.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: fundamentos. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 1, 2012.

CASELLA, George; BERGER, Roger L. **Statistical inference**. 2. ed. Duxbury Thomson Learning, 2002. Disponível em <https://mybiostats.files.wordpress.com/2015/03/casella-berger.pdf>. Acesso em 03 set. 2022.

CAVALCANTI FILHO, Lupercio Luizines. **Avaliação da resistência à compressão simples e absorção de água de tijolos vazados de solo cimento produzidos a partir da substituição parcial do cimento pela cinza de lenha de algaroba.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/20170/1/Dissertacao%20Mestrado%202016_Lupercio_ed_FINAL_3.pdf. Acesso em: 27 jul. 2022.

CRISTELO, Nuno Miguel Cordeiro. **Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2001. Disponível em: <http://repositorium.uminho.pt/handle/1822/150>. Acesso em: 25 jul. 2022.

FERREIRA, Diego William. **Comparação energética de tijolos comum e sem queima pela análise de ciclo de vida.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/139164/000865261.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 jun. 2022.

FRANÇA, Fabrício Carlos. **Estabilização química de solos para fins rodoviários: estudo de caso com o produto “RBI Grade 81”.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9669/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2022.

FRAZÃO, Ely Borges. **Tecnologia de rochas na construção civil.** São Paulo: ABGE, 2002.

FREIRE, Wesley Jorge. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** Campinas: Unicamp, 2003.

GOMES, Frederico Pimentel. **Curso de estatística experimental.** 13. ed. Piracicaba: Livraria Nobel S.A., 1990.

GONÇALVES, Rafael Abrantes. **Mecânica dos solos experimental.** 1. ed. Campina Grande: EDUFPG, 2018.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. **A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil.** 2 ed. São Paulo: PINI, 2002.

HOLANDA, Romildo Morant; SILVA, Bernardo Barbosa da. Cerâmica vermelha – desperdício na construção versus recurso natural não renovável: estudo de caso nos municípios de Paudalho/PE e Recife/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 4, n. 4, jan. 2012. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/232683/26695>. Acesso em: 22 jul. 2022.

INSTITUTO EDUCACIONAL PIRACICABANO DA IGREJA METODISTA-IEP. **Cartilha produção de tijolos de solo-cimento.** Piracicaba: Editora UNIMEP, 2016.

MACHADO, Lucas Ferreira Melo; CAVALCANTE, Erinaldo Hilário; ALBUQUERQUE, Fernando Silva; SALES, Angela Teresa Costa. Adição de uma associação polimérica a um solo argilo-arenoso com vistas à estabilização química de materiais para pavimentos.

Matéria, Rio de Janeiro, v. 22, n. 3, p. 13, 2017. Disponível <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170003.0204>. Acesso em 31 ago. 2022.

MARINHO, Jefferson Luiz Alves. **Gerenciamento da construção civil**: reflexões sobre sustentabilidade, planejamento e controle de obras. Curitiba: Multideia, 2017.

MARQUES, Marcos Vinícius Dias; SANTOS, Rodrigo Rodrigues dos; CRUZ, Cláudia Patrícia Torres. O panorama dos resíduos de corte de mármore e granito no cenário atual da construção civil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 3, p. 26800-26811.

MELLO, Rayanne Macedo de. **Estabilização de solos de subleito de pavimentos com a utilização do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/xmlui/bitstream/handle/177683/1300/TCC%20-%20Hayanne%20Mac%c3%aado%20de%20Mello.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jun. 2019.

MIRANDA, Rita Angélica Cardoso; BACARJI, Edgar; FERREIRA, Regis de Castro. Estudo da aplicação de resíduo de beneficiamento de mármore e granito em tijolos de solo-cimento. *In*: ENCONTRO NACIONAL, IV e ENCONTRO LATINO-AMERICANO, II, SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2007, Campo Grande. **Anais [...]** Campo Grande, 2007, p. 33 - 42. Disponível em: <https://silo.tips/download/estudo-da-aplicacao-de-residuo-de-beneficiamento-de-marmore-e-granito-em-tijolos>. Acesso em: 30 jul. 2022.

MONTANI, Carlo. **Dossiê Brasil 2019**. Brasília: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais, 2019. Disponível em https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2022/01/Dossier_Brazil_2019-mailing.pdf. Acesso em 31 ago. 2022.

MOURA, Deise Leite. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de tijolos ecológicos de uma fábrica no Município de Campos Sales – CE**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/xmlui/bitstream/handle/177683/1909/TCC%20Deise%20Leite%20Moura.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 7 ago. 2022.

NÓBREGA, Andreza Kelly Costa da; SÁ, Maria das Vitórias Vieira Almeida de; AMARAL, Rísia A.; GÓIS, Elder Santos de; DANTAS, Kaio Geovanne de Medeiros. Caracterização do resíduo de pó de pedra ornamental adicionado à argamassa em substituição parcial ao cimento. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 20., 2014, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br/s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0040-27383-165383.pdf>. Acesso em: 3 set. 2022.

PEREIRA, Luiz Henrique Meneses. **Edificações sustentáveis: construções com tijolo de adobe**. 2019. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/31410/1/MONOGRAFIA%20-%20EDIFICA%C3%87%C3%95ES%20SUSTENT%C3%81VEIS%20CONSTRU%C3%87%C3%95ES%20COM%20TIJOLO%20DE%20ADOBE.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2022.

PITTA, Marcio Rocha. Estabilização com solo-cimento. **Téchne**, São Paulo, n. 17, 1995.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. **Manual prático de escavação: terraplenagem e escavação de rocha**. 3. ed. PINI, 2008.

SALVADOR, Paulo. **Construção civil busca soluções sustentáveis**. Monitor Mercantil, 2022. Disponível em: <https://monitormercantil.com.br/construcao-civil-busca-solucoes-sustentaveis/>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SANTOS, Gabriel Ricardo Silva; APOLINÁRIO, Elenice Carmo de Abreu; RIBEIRO, Daniel Vêras. Influência da adição do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) na reologia das argamassas. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 1, 2013, p. 70-86. Disponível em:

https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/596/619. Acesso em: 2 set. 2022.

SANTOS, Max Masters Aguiar; DESTEFANI, André Zotelle; HOLANDA, José Nilson França de. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. **Matéria**. Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, 2013. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S1517-70762013000400005>. Acesso em 31 ago. 2022.

SANTOS NETO, José Lima dos. **Melhoramento do tijolo de solo-cimento com adição do resíduo do corte do mármore e granito (RCMF)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2015. Disponível em:

<https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/4439/1/Melhoramento%20do%20tijolo%20de%20solo-cimento%2c%20com%20adi%C3%A7%C3%A3o%20do%20res%3Adduo%20do%20corte%20do%20m%C3%A1rmore%20e%20granito%20%28RCMG%29.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2022.

SILVA, Diogo Hilário da; SANTANA, Edjane da Silva; SILVA, Jéssica Ferreira Tibúrcio; ALMEIDA, Suelane; LIMA, Sandovânio Ferreira de. Construção sustentável na engenharia civil. **Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 89, 2018. Disponível em:

<https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/5204>. Acesso em: 9 jun. 2022.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE SÃO PAULO - SINDUSCON/SP. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: SindusCon-SP, 2005. Disponível em:

https://www.cuiaba.mt.gov.br/upload/arquivo/Manual_Residuos_Solidos.pdf. Acesso em: 20 jul. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS-SINIR. **Inventário nacional de resíduos sólidos 2020**. 2021. Disponível em <https://sinir.gov.br/relatorios/inventario-nacional/>. Acesso em 31 ago. 2022

TORRES FILHO, Daniel. **Manual básico de materiais para construção**. 2. ed. Cajazeiras: Gráfica Real, 2016.

TICIANI, Ermínio. **Racionalização de projetos e redução dos custos ambientais na construção civil**: o caso da universidade das américas. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103110/225023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 jul. 2022.

THOMAZ, Ercio. Alvenarias de vedação. **Téchne**, São Paulo, n. 15, p. 5, maio 1995.

VIEIRA, Ardalla Ziembovicz; DUARTE, Lauren da Cunha. Reaproveitamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais: o design como ferramenta de valorização. *In*: IX ENSUS – ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO. Florianópolis: UFSC, 2021. Disponível em

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/228933/vol%2003%20-71-82.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 31 ago. 2022.

WALLAU, Juliano Reis. **Avaliação da técnica de estabilização granulométrica como revestimento primário de rodovias não pavimentadas**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2004. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Juliano-Reis-Wallau.pdf>. Acesso em: 26 jun. 22.