

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

JOÃO VICTOR BANDEIRA
VINÍCIUS HENRIQUE DE ALENCAR

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA COM O
USO DE DIFERENTES PORCENTAGENS DE PÓ DE PEDRA**

Cajazeiras-PB
2023

JOÃO VICTOR BANDEIRA
VINÍCIUS HENRIQUE DE ALENCAR

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA COM O
USO DE DIFERENTES PORCENTAGENS DE PÓ DE PEDRA**

Projeto de 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, sob Orientação da Prof. Raquel Ferreira do Nascimento.

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

B214a IFPB/CZ	<p>Bandeira, João Victor. Análise da viabilidade de blocos de terra comprimida com o uso de diferentes porcentagens de pó de pedra / João Victor Bandeira, Vinícius Henrique de Alencar. - 2023.</p> <p>17f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Prof^a. Me. Raquel Ferreira Do Nascimento.</p> <p>1. Construção civil. 2. Sustentabilidade. 3. Argamassa alternativa. 4. Pó de pedra. I. Alencar, Vinícius Henrique de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. III. Título.</p> <p>CDU: 624.01(043.2)</p>
------------------	---

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA COM O USO DE DIFERENTES PORCENTAGENS DE PÓ DE PEDRA

JOÃO VICTOR BANDEIRA
victor.bandeira@academico.ifpb.edu.br

VINÍCIUS HENRIQUE DE ALENCAR
vinicius_henrique_eng@hotmail.com

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

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo investigar a substituição parcial do cimento por pó de pedra como uma alternativa sustentável na construção civil. A pesquisa foi realizada em Cajazeiras, na Paraíba, e envolveu a caracterização dos materiais de acordo com as normas para garantir o controle de qualidade. Foram realizados ensaios de laboratório para avaliar o desempenho da substituição. Os resultados revelaram que a substituição parcial do cimento por pó de pedra é eficaz. Isso demonstra a viabilidade dessa prática como uma forma de reduzir os impactos ambientais associados ao consumo excessivo de cimento na construção. Essa descoberta tem relevância significativa, pois mostra que a substituição parcial do cimento por pó de pedra em blocos de solo cimento pode ser uma alternativa vantajosa, promovendo a sustentabilidade na construção civil. Além de utilizar materiais descartados, essa prática também contribui para a redução do consumo de cimento. Portanto, recomenda-se o estímulo à pesquisa e ao desenvolvimento dessa técnica, visando sua aplicação em larga escala na indústria da construção. Essa abordagem pode trazer benefícios econômicos, ambientais e sociais, e contribuir para melhorias no setor.

Palavras-Chave: Pó de pedra; Bloco de solo cimento; Substituição.

ABSTRACT

This paper aims to investigate the partial replacement of cement with stone dust as a sustainable alternative in civil construction. The research was carried out in Cajazeiras, Paraíba, and involved the characterization of the materials according to the standards to ensure quality control. Laboratory tests were performed to evaluate the performance of the substitution. The results revealed that the partial replacement of cement with stone powder is effective. This demonstrates the feasibility of this practice as a way to reduce the environmental impacts associated with excessive consumption of cement in construction. This discovery has significant relevance because it shows that the partial replacement of cement by stone dust in cement soil blocks can be an advantageous alternative, promoting sustainability in civil construction. In addition to using discarded materials, this practice also contributes to the reduction of cement consumption. Therefore, it is recommended to stimulate the research and development of this technique, aiming at its large-scale application in the construction industry. This approach can bring economic, environmental, and social benefits, and contribute to improvements in the sector.

Keywords: Stone powder; Soil-cement block; Substitution.

1 INTRODUÇÃO

O aumento dos desastres e a escassez de recursos naturais estão causando grandes preocupações com as questões ambientais nas sociedades ao redor do mundo. Frente a estas temáticas específicas,

surgiram pesquisas as quais efetivaram os aspectos relacionados a não degradação ambiental, mediante a sustentabilidade ideal para a longevidade da população. O desenvolvimento sustentável evidenciado nesse processo é aquele que atende às demandas do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer às suas próprias necessidades (SOARES, 2017).

É notório que o processo de construção civil, interfere no seguimento de ambientalização e sustentabilidade, de forma diretiva. Dentre as influências nesse meio, evidencia-se a utilização do cimento nos canteiros de obras. Segundo o relatório anual do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), em 2021 foram produzidas cerca de 60.733 milhões de toneladas de cimento Portland no Brasil, e foram emitidos mais de 550 kg de CO₂ a cada tonelada de cimento. Além da emissão de carbono, outros fatores influenciam crescentemente o processo de sustentabilidade, como retirada da vegetação nativa e cobertura vegetal e com isso perda de espécies animais que habitavam aquele local, poluição da água, do ar e sonora, vibração, contaminação do lençol freático, subsidência do terreno (movimentação do terreno), em alguns casos destruição de mata ciliar, entre outros. Estes encadeamentos são exemplos de ações indesejáveis geradas pela extração de matéria prima (LARUCCIA, 2014).

Segundo o panorama dos resíduos sólidos, no Brasil em 2020, da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) coletados pelos municípios aumentaram quantitativamente de 33 milhões de toneladas em 2010 para 44,5 milhões de toneladas em 2019. Esses resíduos causam impactos ambientais, como é o caso do pó de pedra, que quando não possui destinação específica, é armazenado em pedreiras a céu aberto e pode causar danos ambientais, tais como: poluição atmosférica e assoreamento de rios (ABRELPE, 2020).

Assim, os problemas ambientais causados pelas atividades humanas na produção de bens de consumo e espaços urbanos tornaram-se evidentes no final do século XX, levando a uma consciência social da necessidade urgente de reverter essa situação. Esta crise estabeleceu modelos arquitetônicos e construtivos utilizando o solo como alternativa sustentável. Entre as alternativas relacionadas ao material, encontra-se o Bloco de Terra Compactado, comumente chamado de BTC. Trata-se de peças de alvenaria feitas de solo, compactadas em uma forma por compressão ou prensagem e, em seguida, imediatamente desmoldadas. O BTC pode ser usado em diversos tipos de construção, substituindo os blocos cerâmicos convencionais, seja em alvenaria simples de vedação, ou alvenaria estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas no projeto (NEVES; FARIA, 2011).

Uma das soluções para reduzir o impacto da indústria da construção civil é a produção de materiais com incorporação de resíduos como o pó de pedra e diminuição do consumo de cimento. A substituição parcial do cimento pelo pó de pedra, na fabricação do BTC, se apresenta ecologicamente viável, pois a utilização desse resíduo na produção do bloco de solo cimento está ligada à redução do uso de cimento e a uma destinação ao material que fica acumulado em sua grande maioria nos britadores. Estudos como o de Rolim (2019), demonstra a eficiência dos BTC, com adição de pó de pedra em substituição ao cimento, explanando que os blocos com substituição atingiram resultados aceitáveis pelas normas NBR 10834 (ABNT, 2012) e NBR 10836 (ABNT, 2013), fazendo com que a proporcionalidade de material em reduzir a quantidade de cimento utilizado fosse satisfatória para grande escala de produção dos BTC.

Segundo Rolim (2019), a utilização do pó de pedra demonstra eficiência, pois consiste em partículas finas que preenchem os vazios deixados pelo solo. Isso auxilia na formação de um bloco mais compacto, reduzindo a quantidade de aglomerantes necessários em sua produção.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade de blocos de terra comprimida frente ao uso de diferentes porcentagens de pó de pedra, determinando a porcentagem ideal. Além disso, pretende-se avaliar a influência da substituição do cimento pelo pó de pedra na resistência à compressão e na absorção de água dos blocos. Esses objetivos visam promover práticas mais sustentáveis na construção civil, explorando alternativas que otimizem o uso de recursos e reduzam o impacto ambiental. Os resultados obtidos serão importantes para embasar decisões técnicas e econômicas relacionadas à produção de blocos de terra comprimida.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção, será feita uma análise da literatura que abrange os temas relacionados à pesquisa, com o propósito de fornecer embasamento para os resultados obtidos.

2.1 SUSTENTABILIDADE NA ENGENHARIA

A definição de sustentabilidade adotada na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, conhecida como Rio+20 (ONU, 2012), enfatiza que a sustentabilidade, consiste em satisfazer as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades. Essa definição destaca a importância de equilibrar o desenvolvimento econômico, a proteção ambiental e a justiça social, assegurando que as atuais e futuras gerações possam desfrutar de um ambiente saudável e de recursos adequados para seu bem-estar.

A sustentabilidade na construção envolve a busca por soluções que reduzam a emissão de poluentes, o consumo de recursos naturais, a geração de resíduos e os danos ao ecossistema. A adoção de materiais e técnicas construtivas mais sustentáveis pode contribuir para a preservação do meio ambiente, promover a eficiência energética, reduzir a emissão de carbono e melhorar a qualidade de vida das pessoas. Além disso, essas práticas podem proporcionar benefícios econômicos, sociais e ambientais a longo prazo (ONU, 2012).

2.2 O SOLO

De acordo com Brady e Weil (2013), existem 5 fatores principais para a formação do solo, sendo eles: Material de origem; Clima; Relevo; Biota e Tempo. Com base nesses fatores, os solos são descritos como conjuntos de corpos naturais que se formam ao longo de períodos extensos devido à interação combinada do clima, relevo e organismos sobre o material de origem.

Existem vários tipos de solos e eles podem ser classificados levando em consideração alguns fatores, quanto ao tamanho das partículas, são classificados em solos grossos ou finos. Os solos grossos são pedregulhos e areia, já os solos finos são silte e argilas. Os solos podem ser encontrados com diferentes porcentagens desses solos individuais. (SANTIAGO, 2001).

2.3 USO DO SOLO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Inácio (2016), o solo é um recurso abundante e de fácil aplicação que desempenha um papel fundamental como material de construção ao longo da história. Sua utilização varia de acordo com a cultura local, como exemplificado pelas casas de taipas no Brasil. O solo é um dos materiais de construção mais antigos e amplamente utilizados, sendo que cerca de metade da população mundial vivia em casas feitas com matéria-prima proveniente da terra até 2013, afirmam Brady & Weil (2013). Essas construções incluem desde as tradicionais casas de barro na África até as modernas residências com paredes de terra compactada. O uso do solo como material de construção oferece uma alternativa sustentável e acessível para habitações em diversas partes do mundo.

O conhecimento sobre o uso do solo como material de construção é crucial para permitir intervenções adequadas em monumentos históricos, visando sua restauração sempre que possível. Além disso, o solo é reconhecido como um dos materiais de construção do futuro, devido à sua capacidade de reduzir significativamente os custos relacionados ao transporte, energia e mão-de-obra (SANTIAGO, 2001).

2.4 USO DO CIMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A origem do cimento remonta a aproximadamente 4.500 anos. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), o antigo Egito já utilizava uma mistura de gesso calcinado como aglomerante para construir seus imponentes monumentos. O cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece quando em contato com a água. Quando utilizado na forma de concreto, ele se transforma em uma pedra artificial capaz de adquirir formas e volumes conforme as necessidades de cada obra. Essas características fazem do concreto o segundo material mais consumido pela humanidade, perdendo apenas para a água. (ABCP, 2023).

No Brasil, foram realizados estudos para aplicar os conhecimentos sobre a fabricação do cimento Portland por volta de 1888. Nessa época, o comendador Antônio Proost Rodovalho dedicou-se a estabelecer uma fábrica em sua propriedade, a fazenda Santo Antônio, localizada em Sorocaba-SP. Sendo o segundo material mais utilizado no mundo, foram consumidos, só no Brasil, cerca de 64,5 milhões de toneladas em 2021, de acordo com os dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2021).

2.5 PÓ DE PEDRA

O pó de pedra, é definido como o resíduo resultante do processo de trituração do rochedo (britagem) por trituradores para obtenção de brita composta da mesma composição do rochedo primário, uma vez que o tratamento ocorre apenas por procedimentos físicos (DUARTE, 2013).

De acordo com a NBR 9935 (ABNT, 2011), o pó de pedra deve apresentar partículas menores que 6,3 mm com 28% de material fino, ao contrário do preenchimento de calcário que não admite partículas maiores que 0,075 mm. Frente a classificação dos grãos, o pó de rocha pode ser definido como um agregado miúdo, em termos de granulometria; agregado artificial, derivado do processamento, e agregado normal, em termos de densidade, derivado de rocha granítica, gnáissica ou basáltica (RAMOS FILHO, 2021).

O pó de pedra vem sendo estudado e algumas destinações estão sendo bem úteis como: ensaibramento, pavimentação, usinas de asfalto, revestimentos à base de asfalto e concreto, pré-fabricação, estabilizador de solo, argamassa de assentamento e gesso, paralelepípedos de concreto, entre outros (SAIBREIRA, 2017).

Com o aumento da utilização do concreto, cresce a demanda por insumos como a areia natural, tradicionalmente utilizada e relacionada à qualidade do concreto. O Brasil tem visto um aumento significativo na substituição parcial ou total da areia natural no concreto por materiais alternativos. Uma alternativa viável é utilizar algum tipo de resíduo. Isso oferece vantagens ambientais, econômicas e técnicas (PINTO *et al.*, 2016).

2.6 BLOCO DE TERRA COMPRIMIDA

Segundo a ABCP, a produção do tijolo de solo-cimento não requer mão de obra especializada e pode ser realizada utilizando o solo do próprio local da aplicação, eliminando ou reduzindo o custo de transporte. Além disso, o processo de fabricação requer equipamentos simples e de baixo custo. Sua regularidade nas formas, planeza e lisura das faces permite o uso de argamassas de assentamento e revestimento com espessura mínima e uniforme ou pode dispensar o uso de revestimento (ABCP, 2023).

Os blocos de solo-cimento podem ser maciços ou vazados. Os vazados possuem furos em sua anatomia que facilitam a instalação de rede hidráulica e elétrica, e por possuir esses furos como câmaras de ar, auxiliam no isolamento térmico e acústico, já os maciços, não possuem furos na sua formação (MOTTA, et al. 2019).

3 MATERIAIS E MÉTODOS DA PESQUISA

O desenvolvimento da pesquisa aconteceu na Cidade de Cajazeiras, na Paraíba. A caracterização dos materiais ocorreu em concordância com normas, para se ter conhecimento do tipo de material trabalhado e ter controle de qualidade. Segundo as colocações de Coelho (2019), o processo da pesquisa desenvolveu-se diante de uma abordagem quantitativa e qualitativa, a qual leva em consideração a quantificação do processo construtivo, diante de uma pesquisa aplicada, bem como descreve estes aspectos, com o intuito de proporcionar maior conhecimento mediante as práticas executadas, caracterizando o segmento, por meio de variáveis, frente a técnicas pré-estabelecidas, de forma controlada, com o objetivo de promover conhecimento diante do tema pesquisado.

3.1 MATERIAIS

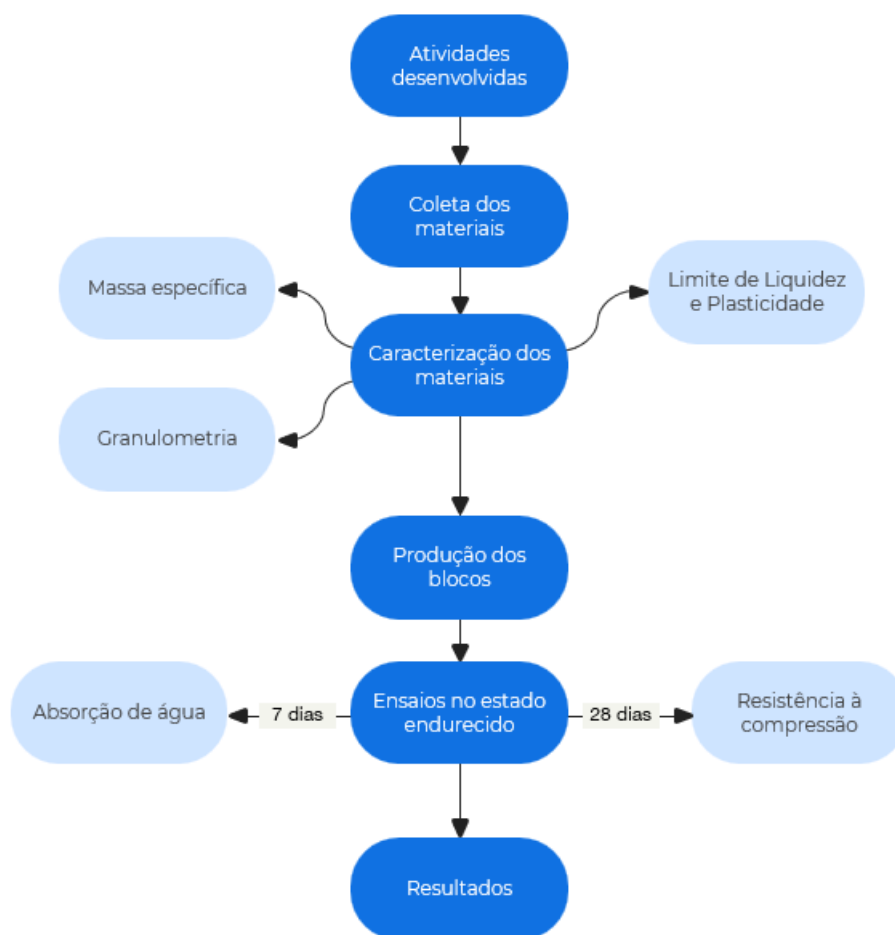
Para a pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais: o cimento utilizado foi o CP II F 32 da empresa Elizabeth Cimentos; o solo foi coletado do Sítio Jardineiro localizado a 15 km da Cidade de

Cajazeiras; e o pó de pedra foi doado do britador Kibrita, localizado na Cidade de Cajazeiras-PB. Para os ensaios e confecção dos blocos todo o solo assim como todo o pó de pedra foram secos em estufa por um período de 24 horas e resfriados em temperatura ambiente anteriormente a cada ensaio.

3.2 MÉTODOS

Para a construção da pesquisa, foram seguidos alguns passos, os quais estão descritos na Imagem 1, através de um fluxograma que elenca os aspectos realizado em ordem de acontecimentos.

Imagem 1: Fluxograma



Fonte: Autoria Própria, (2023).

3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

A seguir, são descritos os ensaios realizados e os procedimentos para a obtenção dos resultados.

3.3.1 Granulometria

O ensaio de granulometria tem como objetivo determinar as dimensões das partículas presentes no solo e suas porcentagens, e serve para conhecer melhor as propriedades físicas do solo. Com isso, uma fração do material passou pela peneira de 76 mm, desprezando o material retido, adotando a quantidade de material, conforme a Tabela 01.

Tabela 01: Quantidade de amostra para análise granulométrica

Dimensão maiores contidos, determinadas por observação visual (mm)	Quantidade mínima a tomar (kg)
< 5	1
5 a 25	4
> 25	8

Fonte: NBR 6457 (2016).

Para realizar o ensaio de granulometria, foi seguida a NBR 7181 (ABNT, 2016), que pode ser realizada de duas formas, por peneiramento e por sedimentação. Para o estudo desenvolvido, foi realizado por peneiramento, onde foram utilizadas as peneiras especificadas pela NBR 7181 (ABNT, 2016), que possuíam as seguintes aberturas, em mm: 50; 38; 19; 9,5; 4,8; 2,0; 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075.

a) Fino

O material retido na peneira de 0,075 mm foi seco em estufa, à temperatura entre 105°C a 110°C por 24 h, em seguida o material passou pelas peneiras de 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0,075 mm, e as massas retidas acumuladas foram anotadas com resolução de 0,01 g.

b) Grosso

O material retido na peneira de 2,0 mm foi lavado e seco em estufa, à temperatura entre 105°C a 110°C por 24 h, em seguida o material passou pelas peneiras de 50,0 mm, 38,0 mm, 25,0 mm, 19,0 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, e as massas retidas acumuladas foram anotadas com resolução de 0,1 g.

3.3.2 Limite de Liquidez e Plasticidade

Esses limites indicam o comportamento do solo mediante aplicações de cargas e teor de umidade. O material foi passado pela peneira de 0,42 mm a fim de ter 200 g de material passante. Metade desse material foi para o aparelho para determinação do limite de liquidez, como isso, o ensaio foi realizado, segundo a NBR 6459 (ABNT, 2016), e coletado o número de golpes necessário para que as bordas inferiores da ranhura se unissem ao longo de 13 mm de comprimento.

A outra parte, foi para o limite de plasticidade, o passo a passo normatizado pela NBR 7180 (ABNT, 2016), foi repetido até que se obtivessem pelo menos três valores de umidade.

3.3.3 Massa Específica

A massa específica influencia o comportamento e as propriedades físicas do solo, como sua capacidade de suporte, compressibilidade, permeabilidade e resistência. Para esse ensaio foi utilizada a NBR 16605 (ABNT, 2017). Materiais utilizados: frasco volumétrico de Le Chatelier, termômetro, balança, querosene, caixa isolante térmica, funil e 60 g do pó de pedra passante da peneira de 0,075 mm.

Foi colocado 1 cm³ de querosene no frasco de Le Chatelier, deixando o frasco em isolamento térmico por 30 minutos foi quantizado o valor de V1. Em seguida o pó de pedra foi despejado por funil para que o material não aderisse às bordas do frasco, para a eliminação de bolha de ar o frasco foi girado três vezes de forma manual. Em seguida foi determinada a massa específica do solo usando uma proveta, foi adicionada água destilada em temperatura ambiente até a marca de 200 ml e 500 g de solo.

3.4 PRODUÇÃO DOS BLOCOS

Diante dos ensaios realizados e o solo atendendo a todos os pré-requisitos, passou a ser produzidos os blocos para testes. Foi utilizado o laboratório do Instituto Federal de Ciências e Tecnologia da Paraíba *Campus* Cajazeiras que dispunha da prensa hidráulica para a confecção de blocos ecológicos com um bloco por prensagem. Com base na ABCP, sobre fabricação de tijolos de solo-cimento, o solo e o pó de pedra foram colocados em uma bandeja para que ocorresse a mistura,

onde foi utilizado inicialmente 1 kg de cimento para 10 de solo, misturando até que a coloração fosse homogênea (ABCP, 2023).

Em seguida, foi usada a técnica de Taveira (2016) para a umidificação da amostra, que foi dada quando a amostra, ao ser apertada manualmente, ficou a marca dos dedos e, quando solta a uma altura de 1 metro, a porção se esfacelou quando chegou ao piso. Feito isso, a amostra foi colocada na prensa para a confecção dos corpos de prova.

Nos traços dos blocos produzidos foram feitas substituições através de uma proporção de cimento e de pó de pedra, sendo adotadas as substituições de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%, além do grupo de controle, 0%, para poder comparar a eficiência das substituições, essas porcentagens foram adotadas através de estudo de Rolim (2019), onde demonstrou que entre 0% e 10% de substituição obteve resistência dos blocos adequadas para sua substituição, estes resultados estão exemplificados na Tabela 02.

Tabela 02: Porcentagem de substituição e quantidade de material utilizado

Traço	1:10	Solo (kg)	Cimento (kg)	Pó de Pedra (kg)
Substituição (%)				
0		30	3,00	0,000
2		30	2,94	0,060
4		30	2,88	0,120
6		30	2,82	0,180
8		30	2,76	0,240
10		30	2,77	0,300

Fonte: Autoria Própria (2023).

3.5 ANÁLISE

Foram analisadas a performance dos Blocos de Concreto de Solo-cimento com a substituição do pó de pedra, utilizando ensaios de compressão simples e absorção de acordo com a NBR 10836 (ABNT, 2013) e NBR 8492 (ABNT, 2012). Para o ensaio de compressão foi feita a regularização das faces por lixadeira das aréolas. O bloco foi cortado ao meio e colado como de acordo como a norma solicita, após um período de pelos menos 6 horas submersos em água o ensaio a compressão foi realizado. Além disso, os resultados foram avaliados de acordo com a NBR 10834 (ABNT, 2012). Foram produzidos três blocos para análise de absorção de água após o período mínimo de cura, 7 dias, e sete blocos para teste de resistência simples à compressão aos 28 dias. Os dados obtidos foram analisados por meio de média estatística e desvio padrão.

4 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentadas as principais informações que fornecerão uma visão geral e abrangente dos dados coletados, bem como suas implicações para a pesquisa em questão.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

De acordo com a Tabela 03, foi observado que 100% do material utilizado no ensaio passou pela peneira de 4,8 mm. Essa informação é relevante, pois indica que o material atende aos requisitos estabelecidos pela NBR 10833 (ABNT, 2012) para essa faixa de granulometria.

Tabela 03: Peneiramento Grosso

Peneira (mm)	Massa (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
25,4	0	0	0
19,1	0	0	0
9,5	0	0	0
4,8	0	0	0
2,0	498,7	100	100
Total	498,7		

Fonte: Autoria Própria (2023).

A peneira de 4,8 mm é uma das peneiras utilizadas para a análise granulométrica de materiais. Ela é responsável por separar as partículas de acordo com o seu tamanho, permitindo identificar a distribuição granulométrica do material. A NBR 10833 (ABNT, 2012), estabelece critérios específicos para a porcentagem de material que deve passar por essa peneira, dependendo da aplicação e das características desejadas.

Na NBR 10833 (ABNT, 2012), além do parâmetro de peneiramento com a abertura de 4,8 mm, há também uma classificação quanto ao peneiramento fino, especificamente para a peneira de 0,075 mm. A norma estabelece que a porcentagem específica do solo deve passar por essa peneira seja entre 10% e 50%, como pode ser visto na Tabela 04.

Com base na análise realizada, foi constatado que 21,57% do solo utilizado no ensaio passou pela peneira de 0,075 mm. Essa observação indica que o material analisado satisfaz os requisitos da NBR 10833 (ABNT, 2012) em relação ao peneiramento fino.

A partir da Tabela 04, foi constatado que 21,57% do solo passou pela peneira de 0,075 mm. Desta forma, pode-se inferir que há uma presença significativa de partículas finas no material analisado. Essa informação é útil para a classificação e caracterização do solo, uma vez que a presença de partículas finas pode afetar propriedades como permeabilidade, plasticidade e compactação.

Tabela 04: Peneiramento Fino

Peneira (mm)	Massa (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
1,200	23,92	8,76	8,76
0,600	38,02	13,93	22,70
0,420	31,89	11,69	34,38
0,250	19,62	7,19	41,57
0,150	61,33	22,47	64,04
0,075	39,25	14,38	78,43
Fundo	58,87	21,57	100,00
Total	272,90		

Fonte: Autoria Própria (2023).

O terceiro critério utilizado na classificação do solo para a produção de BTC (Bloco de Terra Comprimida) é o limite de liquidez. De acordo com a NBR 10833 (ABNT, 2012), o solo deve apresentar um valor igual ou inferior a 45% para atender aos requisitos desta norma.

Na Tabela 05, estão apresentados os valores obtidos no ensaio de limite de liquidez do solo. Esses valores são utilizados para avaliar se o solo analisado está dentro dos limites estabelecidos pela

norma. Ao comparar os valores obtidos no ensaio com o critério de limite de liquidez estabelecido pela NBR 10833 (ABNT, 2012), é possível determinar que o solo utilizado satisfaz as exigências.

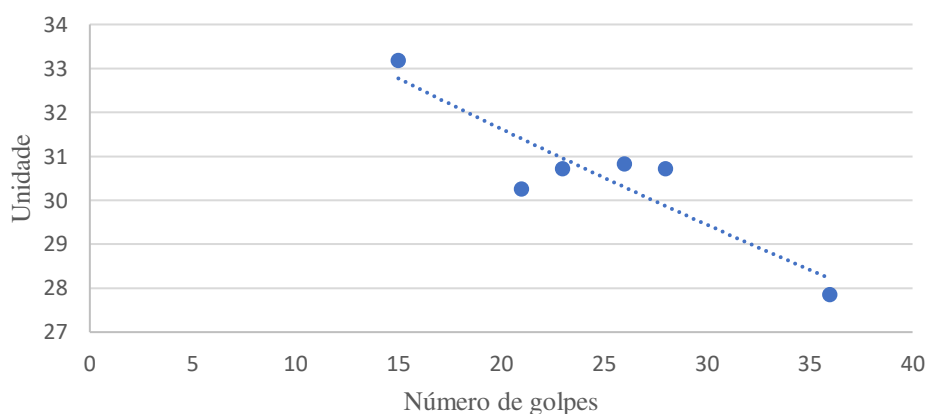
Tabela 05 - Limite de Liquidez

Cápsula	Golpes	Umidade (%)
P14	15	33,18
P19	21	30,26
P6	23	30,71
P13	26	30,82
P15	28	30,72
P12	36	27,85

Fonte: Autoria Própria (2023).

Em seguida foi analisado o Gráfico 01, e feito uma linha de tendência desses pontos, sendo traçada uma linha vertical, partindo do número de golpes igual a 25 e que intersecta a linha de tendência. O resultado obtido foi 30,5%, que é o valor do LL, atendendo a norma.

Gráfico 01: Limite de Liquidez



Fonte: Autoria Própria (2023).

O quarto procedimento para a determinação da viabilidade do solo para BTC é o limite de plasticidade. Conforme a Tabela 06 o valor do solo utilizado foi de 19,92%.

Tabela 06: Limite de Plasticidade

Cápsula	Umidade (%)
P14	20,34
P19	21,32
P6	18,18
P13	21,74
P15	20,77
P12	17,19
Média	19,92

Fonte: Autoria Própria (2023).

Por fim, o índice de plasticidade, que por normatização deve ter um valor obtido $\leq 18\%$. Foi realizada a diferença do LL = 30,5% e o LP = 19,92% obtendo o índice de plasticidade igual a 10,58%.

4.2 MASSA ESPECÍFICA

As massas específicas são parâmetros importantes para caracterizar as propriedades físicas de diferentes materiais. Elas são obtidas através da relação entre a massa e o volume de uma substância.

No caso do pó de pedra utilizado, foi realizado um experimento em que se obteve um volume de 22 cm³ para uma massa de 60,06 g de material. Com base nesses valores, calculou-se a massa específica, que ficou em 2,724 g/cm³.

Em relação ao cimento utilizado, que é o CP II F 32 da empresa Elizabeth Cimentos, a própria empresa informa que a massa específica desse tipo de cimento é de 3,15 g/cm³. Esse valor representa a massa média contida em cada unidade de volume do cimento.

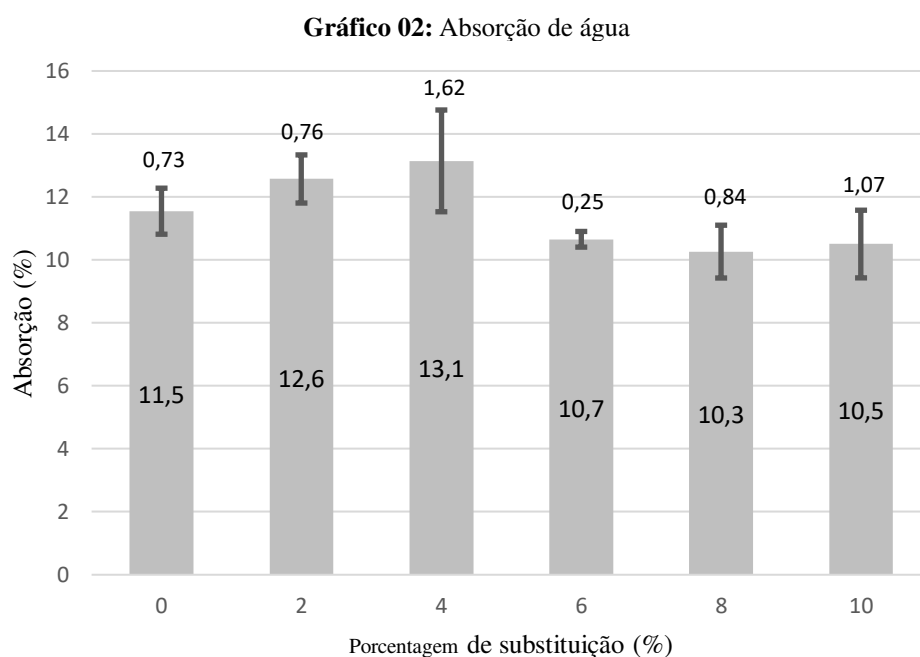
No que diz respeito ao solo utilizado, foi determinado que sua massa específica é de 2,86 g/cm³. Para obter esse valor, utilizou-se uma massa de 500 g do solo, que ocupou um volume de 175 cm³.

A determinação das massas específicas é fundamental para compreender as características físicas e comportamento dos materiais em diferentes aplicações. Esses valores são utilizados em cálculos de dosagens, projeto de estruturas e outras análises relacionadas às propriedades físicas dos materiais.

4.3 ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS BTC

De acordo com a NBR 10834 da ABNT (2012), os Blocos de Terra Compactada (BTC) devem atender a requisitos específicos de absorção. Essa norma estabelece que a absorção individual de cada bloco não deve ser superior a 22%, e a média dos valores de absorção de todos os blocos deve ser igual ou inferior a 20%.

O ensaio foi feito após 7 dias de cura, sendo molhados duas vezes ao dia durante esse intervalo, para garantir uma cura eficiente, e ao analisar os resultados obtidos e compará-los com os critérios da norma, verificou-se que os valores estão dentro das especificações estabelecidas. O Gráfico 02 apresenta a média dos valores de absorção e os desvios padrões de cada média. Todos os valores estão abaixo de 20%, atendendo ao requisito da norma. Além disso, os valores individuais de absorção para cada bloco também foram inferiores a 22%.



Fonte: Autoria Própria (2023).

É importante ressaltar que a média de absorção dos blocos foi um indicativo relevante para avaliar o desempenho dos diferentes traços utilizados. Nesse contexto, observou-se que os traços de 2% e 4% apresentaram aumento na absorção quando comparados ao de 0%, o que pode estar

associado com uma tendência no aumento da absorção de água, a partir da diminuição do consumo de cimento (LLAJARUNA, 2016).

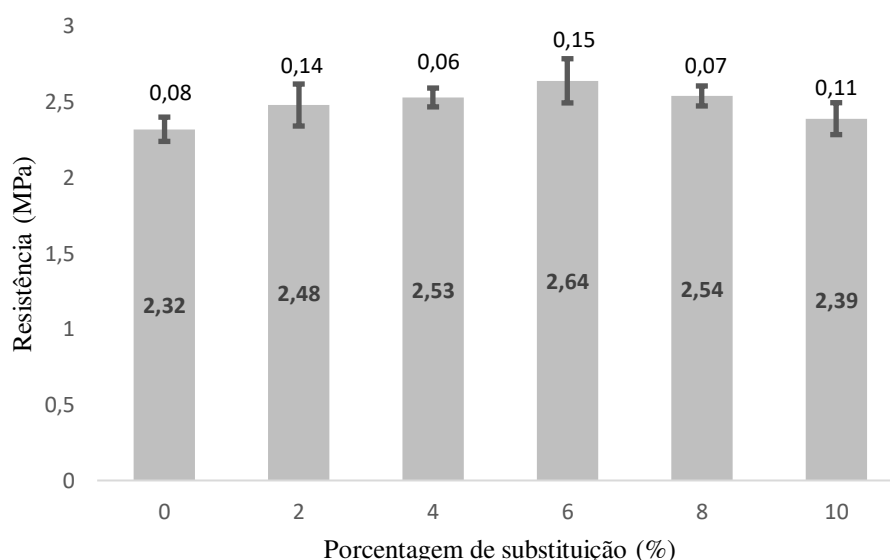
Segundo Fabro *et al* (2011), outro fator que pode influenciar é que, em decorrência do processo de britagem, o pó de brita apresenta partículas com formas angulosas, as quais possuem uma área superficial maior. Essa característica resulta em uma demanda maior de água, devido à necessidade de preencher os espaços vazios entre as partículas.

No que se refere as substituições de 6%, 8% e 10%, apresentaram as menores absorções médias, com valores de 10,00%, 10,26% e 10,50%, respectivamente, e tiveram reduções de 6,97%, 10,78% e 8,70%, quando comparados à absorção do traço com 0% de substituição. Esse fenômeno pode estar associado ao refinamento dos poros, ocorrendo devido ao efeito filer das partículas menores dos resíduos, que preenchem os espaços vazios entre as partículas de cimento (RAMOS FILHO, 2021).

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BTC

O ensaio de compressão realizado após 28 dias de cura é uma forma de avaliar a resistência do material utilizado. Com base no Gráfico 03 de resistência obtida, é possível fazer uma análise da resistência média e do desvio padrão das diferentes substituições utilizadas. Os traços com maior resistência foram os de 4%, 6% e 8% de substituição. Dentre esses, o traço de 6% apresentou a maior média de resistência, atingindo 2,64 MPa. Isso indica que a adição de substituinte nesse percentual contribuiu para uma maior resistência do material, é possível afirmar que o resíduo de construção teve um impacto na absorção dos esforços mecânicos, assim como ocorre com os agregados utilizados em concretos e argamassas (LLAJARUNA, 2016).

Gráfico 03: Média das resistências à compressão simples



Fonte: Autoria Própria (2023).

Foi observada uma diminuição na resistência nos traços de 8% e 10% de substituição. Apesar disso, os valores de resistência nesses traços ainda são superiores ao traço com 0% de substituição. Isso significa que mesmo com a adição de uma maior quantidade de substituinte, o material continua atendendo aos requisitos mínimos de resistência estabelecidos pela NBR 10834 (ABNT, 2012), que determina que a média dos resultados após 28 dias de cura deve ser superior a 2,00 MPa.

Os traços que apresentaram as melhores resistências foram os traços com as substituições de 4% (2,53 MPa), 6% (2,64 MPa) e 8% (2,54 MPa), sendo 9,05%, 13,79% e 9,48%, respectivamente, mais resistentes do que o traço sem substituição de pó de pedra. Além de melhorar a resistência a substituição barateia a produção do bloco, pois o custo médio de 50 kg de cimento é de R\$ 33,00, já a mesma quantidade de pó de pedra custa R\$ 2,44, representando 92,61% de redução em 50 kg de substituição.

Rolim (2019) também apresentou distribuição de dados que compactuam com o aumento inicial da resistência, e depois a diminuição dela em traços com maiores substituições, isso se dá em razão à redução da capacidade aglutinante, pois houve a diminuição da quantidade de cimento.

Verificou-se experimentalmente que o traço de 4% de substituição apresentou o menor desvio padrão em relação às medições realizadas. Os valores obtidos foram expressos em 0,06 MPa, indicando uma menor dispersão dos resultados. Isso significa que os valores obtidos para essa proporção de substituição estão mais próximos da média.

Por outro lado, o traço de 6% de substituição apresentou um desvio padrão de 0,1458 Mpa, indicando uma dispersão maior dos valores obtidos. Nesse caso, os resultados se afastam mais da média, o que pode indicar uma variabilidade maior nas medições.

O desvio padrão é uma medida estatística que representa a dispersão dos valores em relação à média. Quanto maior o desvio padrão, maior é a dispersão dos dados.

Ao final do processo de análise, foi possível constatar que sua utilização como substituto parcial do cimento apresentou resultados positivos. Essa substituição mostrou-se eficiente, permitindo reduzir o consumo de cimento e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental e os custos associados. Além disso, o pó de pedra contribuiu para melhorar propriedades importantes do concreto, como durabilidade e resistência mecânica.

5 CONCLUSÃO

A substituição parcial do cimento por pó de pedra em blocos de solo cimento oferece diversos benefícios significativos. Em primeiro lugar, essa prática contribui para o aproveitamento de um material que seria descartado, ou seja, o pó de pedra, dando-lhe uma finalidade útil na construção civil. Além disso, a substituição parcial do cimento resulta em uma redução no consumo desse material, o que é vantajoso tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

No que diz respeito às propriedades mecânicas dos blocos de solo cimento com substituição parcial de cimento por pó de pedra, os resultados mostraram que o solo utilizado atendeu aos limites de liquidez e plasticidade estabelecidos pelas normas. Além disso, todas as substituições apresentaram resistência à compressão simples superior aos blocos sem substituição, demonstrando a viabilidade dessa técnica. Foi observado que as substituições de 2% e 4%, apesar de ficarem abaixo do limite máximo estabelecido pelas normas, tiveram absorção de água maior que o traço de referência. A viabilidade da técnica está nos traços de 6%, 8% e 10%, pois tiveram melhores resultados do que o traço de referência.

No contexto da sustentabilidade, os blocos de solo cimento já são considerados ecológicos. No entanto, a substituição parcial do cimento por pó de pedra reforça ainda mais essa característica, uma vez que a produção de cimento possui impactos ambientais significativos. Ao adotar essa prática, o estudo contribuiu para a redução desses impactos, promovendo uma construção mais sustentável. Além disso, os resultados mostraram que o traço de 10% de pó de pedra apresentou-se como a melhor opção, pois demonstrou o menor uso de cimento em relação aos outros traços avaliados, tornando-se o traço mais favorável do ponto de vista da sustentabilidade.

Dessa forma, a substituição parcial do cimento por pó de pedra em blocos de solo cimento é uma alternativa viável e vantajosa, que alia o aproveitamento de materiais descartados, a redução do consumo de cimento e a promoção da sustentabilidade na construção civil. A adoção dessa prática pode contribuir para a melhoria do setor, proporcionando benefícios econômicos, ambientais e sociais. Recomenda-se, portanto, o estímulo à pesquisa e ao desenvolvimento dessa técnica, visando sua aplicação em larga escala na indústria da construção civil. Para isso, outros estudos se fazem necessário para estruturar a base de pesquisa e identificar os diferentes tipos de solos que apresentam melhor desempenho na produção dos blocos, e em consonância a pesquisa, a análise de diferentes tipos de substituição de material em substituição ao cimento para um bloco com maior sustentabilidade ambiente e aproveitamento de resíduos de outros materiais.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. São Paulo: ABCP. 2023. 16 p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. 2020. Disponível em <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em 27 jan. 2022.

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 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 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9935**: Agregados – terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

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 10834**: Bloco de solo cimento sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10836**: Bloco de solo cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

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

BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

COELHO, Beatriz. **Um guia completo sobre todos os tipos: abordagem, natureza, objetivos e procedimentos**. 2019. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/tipos-depesquisa/>. Acesso em: 06 jan. 2023.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (2012: Rio de Janeiro, RJ). **Documento Final**. Rio de Janeiro: Editora, 2012.

DUARTE, João Batista. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

FABRO, F. *et al.* Influência da forma dos agregados miúdos nas propriedades do concreto. **IBRACON**, v. 4, n. 2, p. 203-212, 2011.

INÁCIO, Carlos Alberto Espírito Santo. **Estudo do solo enquanto material de construção sustentável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra. Coimbra, 2016.

LARUCCIA, Mauro Maia. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **ENIAC Pesquisa**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 69-84, 2014.

LLAJARUNA, Manuel Antônio Villalobos. **Estudo do solo-cimento auto adensável para a fabricação de tijolos de pó de mármore e resíduo de construção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Júnior”. Ilha Solteira, 2016.

MOTTA, Jéssica Campos Soares Silva *et al.* Tijolo de solo - cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **Exacta**, Belo Horizonte, v. 7, n. 1, p.13-26, 2014.

NEVES, Célia; FARIAS, Obede Borges. **Técnicas de construção com terra**. Bauru: FEB/UNESP PROTERRA, 2011.

PINTO, E. N. M. G. *et al.* **Influência da granulometria do agregado miúdo nas propriedades do concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 22. **Anais**. Natal, p. 1790 – 1798, 2016.

RAMOS FILHO, Ricardo Eugenio Barbosa. **Estudo de combinação de resíduos de scheelita, pó de pedra e manípueira com aglomerantes para produção de tijolos ecológicos**. 2021. 142 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Orientador: Dr. Wilson Acchar.

ROLIM, M. G. **Confecção de blocos de terra comprimida com a utilização do pó de pedra**. Cajazeiras, 2019.

SAIBREIRA, Boa Esperança. **Pó de pedra**. Disponível em: <http://www.saibreiraboaesperanca.com.br/site/produtos/po-de-pedra-curitiba.html>. Acesso em: 27 jan 2023

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **O solo como material de construção**. 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2001. 72 p. ISBN 85-232-0249-8.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO - SNIC. **Relatório anual 2020**. Disponível em http://snic.org.br/assets/pdf/relatorio_anual/rel_anual_2020.pdf. Acesso em 27 jan. 2023.

SOARES, M. do C. R. **Logística reversa aplicada à construção civil: análise dos processos de descarte em uma construtora no município de Capão da Canoa/RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Santa Cruz do Sul. Rio Grande do Sul, 2017.

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira. **Cartilha produção de tijolos de solo cimento**. Piracicaba: Editora UNIMEP, 2016. 72 p.


JOÃO VICTOR BANDEIRA
VINÍCIUS HENRIQUE DE ALENCAR

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE BLOCOS DE TERRA COMPRIMIDA COM O
USO DE DIFERENTES PORCENTAGENS DE PÓ DE PEDRA**

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


Aprovado em 13 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 RAQUEL FERREIRA DO NASCIMENTO
Data: 08/08/2023 14:32:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Raquel Ferreira Do Nascimento – IFPB-*Campus* Cajazeiras

Orientadora

Documento assinado digitalmente
 GASTAO COELHO DE AQUINO FILHO
Data: 08/08/2023 14:28:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Gastão Coelho De Aquino Filho– IFPB-*Campus* Cajazeiras

Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 MATEUS GOMES ROLIM
Data: 08/08/2023 13:45:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mateus Gomes Rolim – Faculdade Santa Maria

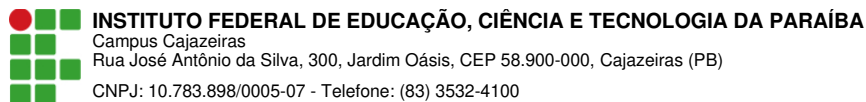
Examinador 2

MATERIAL COMPLEMENTAR

▪ FIGURAS ADICIONAIS

Imagens que mostram a forma que o trabalho foi desenvolvido.





Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC

Assunto: TCC
Assinado por: Stanley Oliveira
Tipo do Documento: Dissertação
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- Stanley Borges de Oliveira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 17/08/2023 14:51:45.

Este documento foi armazenado no SUAP em 17/08/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 912962
Código de Autenticação: ff38bad903

