

**DIRETORIA DE ENSINO DO *CAMPUS* DE SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES INTEGRADO**

**BRUNA DE OLIVEIRA GONÇALVES
KAROLINE MEIRELES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DE ARTIGOS SOBRE O IMPACTO DE COMPÓSITOS ORGÂNICOS
NAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE
ÁGUA DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO CONFORME A NBR 8491**

**Salvador
2024**

**BRUNA DE OLIVEIRA GONÇALVES
KAROLINE MEIRELES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DE ARTIGOS SOBRE O IMPACTO DE COMPÓSITOS ORGÂNICOS
NAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE
ÁGUA DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO CONFORME A NBR 8491**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia da Bahia —
Campus Salvador como requisito parcial para título
de Técnico em Edificações.

Orientador: Dr. Adriano Silva Fortes

Salvador
2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

G635a Gonçalves, Bruna de Oliveira

Análise de artigos sobre o impacto de compósitos orgânicos nas propriedades de resistência à compressão e absorção de água do tijolo de solo-cimento conforme a NBR 8491 / Bruna de Oliveira Gonçalves; Karoline Meireles dos Santos; orientador Adriano Silva Fortes -- Salvador, 2024.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico de Ensino Médio em Edificações Integrado) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Tijolo. 2. Solo-cimento. 3. Casca de ovo. 4. Casca de arroz. 5. Cinza de bagaço de cana. I. Santos, Karoline Meireles dos, colab. II. Fortes, Adriano Silva, orient. III. TÍTULO.

CDU 666.712

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA
DIRETORIA DE ENSINO DO *CAMPUS* DE SALVADOR
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES INTEGRADO

BRUNA DE OLIVEIRA GONÇALVES
KAROLINE MEIRELES DOS SANTOS

**ANÁLISE DE ARTIGOS SOBRE O IMPACTO DE COMPÓSITOS ORGÂNICOS
NAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE
ÁGUA DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO CONFORME A NBR 8491**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Edificações pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia pela seguinte banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **ADRIANO SILVA FORTES**
Data: 05/02/2025 22:42:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriano Silva Fortes (Orientador) _____

Doutor em Engenharia Civil pela UFSC/Universidade do Minho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador

Documento assinado digitalmente
 **ELVIO ANTONINO GUIMARAES**
Data: 06/02/2025 06:59:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Elvio Antonino Guimarães _____

Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UFRN

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador

Documento assinado digitalmente
 **JULIANE SANTOS SOUZA**
Data: 30/01/2025 16:36:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Juliane Santos Souza _____

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UEFS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador

Salvador/BA, 12 de Dezembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a minha mãe, Noemia Batista de Oliveira, por sempre priorizar a minha educação.

Agradeço a todos meus amigos e colegas do IFBA que acompanharam a minha trajetória, e me ajudaram a superar as barreiras para a minha formação. Em especial, a minha companheira neste trabalho, Karol, que por seu suporte emocional ao longo desses anos, possibilitou que eu chegasse até aqui.

Agradeço ao meu orientador, Professor Adriano Fortes e a Professora Lettycia Silva pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis e pela orientação neste trabalho.

Agradeço sinceramente ao meu amigo Jonatha Siqueira, que me incentivou e me ajudou a pegar no pesado quando foi preciso.

Agradeço a todos os meus professores, em especial, a Solange Santana, Elisângela Mendes e Isabelle Priscila Lima, grandes fontes de inspiração acadêmica e de vida.

Por fim, agradeço à instituição e a todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho e encerramento desse ciclo.

Muito obrigada!
Bruna de Oliveira Gonçalves

AGRADECIMENTOS

Sou profundamente grata por ter concluído este ciclo em minha vida. Agradeço a todas as pessoas que estiveram comigo ao longo dessa caminhada e saibam que espero, de coração, poder retribuir.

Com todo amor e carinho,
Karoline Meireles dos Santos

Não acho que quem ganhar ou quem perder, nem quem ganhar nem perder, vai ganhar ou perder. Vai todo mundo perder.

Dilma Rousseff, 2019

GONÇALVES, B. O.; SANTOS, K. M. ANÁLISE DO IMPACTO DE COMPÓSITOS ORGÂNICOS NAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E ABSORÇÃO DE ÁGUA DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO CONFORME A NBR 8491. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso Técnico em Edificações, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – *Campus* Salvador, Salvador, 2024.

RESUMO

O tijolo de solo-cimento é uma alternativa sustentável à alvenaria convencional, pois sua produção dispensa a queima, reduzindo emissões de CO₂ e oferecendo benefícios como redução de custos e tempo de execução, além de agregar valor estético à obra. A inclusão de resíduos orgânicos nesse material pode potencializar suas propriedades físico-mecânicas, contribuindo para a estabilização do solo ao passo que reduz a necessidade do cimento, além de oferecer uma solução ambiental para o descarte inadequado desses materiais. Este estudo visa analisar o impacto da inclusão de resíduos como cascas de ovos, cascas de arroz, cinzas do bagaço de cana (CBC) e GRITS no tijolo de solo-cimento. Utilizando-se de referências bibliográficas, a pesquisa busca compreender como esses materiais influenciam na resistência à compressão e absorção de água do tijolo de solo-cimento, com o intuito de proporcionar a fabricação de materiais de construção alternativos para a construção civil; visando a sustentabilidade e eficiência do setor com o uso de produtos mais econômicos e ambientalmente responsáveis.

Palavras-chave: Tijolo. Solo-Cimento. Casca de Ovo. Casca de Arroz. Cinza de Bagaço de cana. GRITS.

GONÇALVES, B. O.; SANTOS, K. M. ANALYSIS OF THE IMPACT OF ORGANIC COMPOSITES ON THE COMPRESSION STRENGTH AND WATER ABSORPTION PROPERTIES OF SOIL-CEMENT BRICKS IN ACCORDANCE WITH NBR 8491. Course Completion Work, Technical Course in Buildings, Federal Institute of Education, Science and Technology of Bahia – *Campus* Salvador, Salvador, 2024.

ABSTRACT

The soil-cement brick represents a sustainable alternative to conventional masonry, as its production does not require firing, thus reducing CO₂ emissions and offering benefits such as cost and time savings, as well as adding aesthetic value to the work. The inclusion of organic waste in this material can enhance its physical-mechanical properties, contributing to soil stabilization while reducing the need for cement, as well as providing an environmental solution for the improper disposal of these materials. This study aims to analyze the impact of including waste such as eggshells, rice husks, sugarcane bagasse ash (CBC), and GRITS in soil-cement bricks. Using bibliographic references, the research seeks to understand how these materials influence the compressive strength and water absorption of soil-cement bricks, with the aim of providing the manufacturing of alternative construction materials for the construction industry, aiming for sustainability and efficiency in the sector through the use of more economical and environmentally responsible products.

Keywords: Brick. Soil-Cement. Eggshel. Rice Husk. Sugarcane Bagasse Ash. GRITS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Valores de resistência à compressão simples dos CPs de solo-cimento-casca..	31
Figura 2 — Valores de resistência à compressão simples e de massa específica aparente seca máxima dos CPs de solo-cimento-casca.....	33
Figura 3 — Valores de resistência à compressão simples e de massa específica aparente seca dos CPs de solo-cimento-casca.....	33
Figura 4 — Capacidade de absorção d'água total e valores de massa específica aparente seca dos CPs de solo-cimento-casca.....	34
Figura 5 — Absorção de água (%) e massa específica aparente (kgm-3) dos tijolos de solo-cimento-casca.....	37
Figura 6 — Resistência à compressão simples (MPa) e massa específica aparente (kg.m-3) dos tijolos de solo-cimento-resíduos vegetais aos 7 dias.....	38
Figura 7 — Absorção de água (%) dos tijolos de solo-cimento-CBC.....	39
Figura 8 — Absorção de água (%) dos tijolos de solo-cimento-CBC.....	40
Figura 9 — Absorção de água média dos CPs de solo-cimento-GRITS, aos 28 dias, e comparação com o limite permitido da NBR 10836 (ABNT, 1994b).....	43
Figura 10 — Resistência à compressão média dos CPs de solo-cimento-GRITS e o desvio padrão (DP), aos 13 dias, e comparação com o limite permitido da NBR 10836 (ABNT, 1994b).....	43
Figura 11 — Valores de resistência à compressão aos 14 e 28 dias de CPs de solo-GRITS e comparação com os limites permitidos pela NBR 8491.....	45
Figura 12 — Valore de absorção de água de CPs de solo-GRITS e comparação com os limites permitidos pela NBR 8491.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 — Caracterização física do solo.....	31
Quadro 2 — $\gamma_{\text{máx}}$ e U_{ot} das composições solo-cimento-casca.....	31
Quadro 3 — Resistência à compressão simples (MPa) dos tijolos moldados.....	32
Quadro 4 — Caracterização física do solo.....	33
Quadro 5 — Valores de umidade ótima das misturas de solo-cimento-casca de arroz.....	33
Quadro 6 — Valores de umidade ótima das misturas de solo-argiloso-casca de arroz.....	34
Quadro 7 — Resistência à compressão simples (MPa), aos 7 e aos 28 dias, dos CPs de solo-cimento-casca.....	35
Quadro 8 — Caracterização física do solo.....	36
Quadro 9 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{\text{máx}}$, em gcm-3) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-resíduo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal.....	37
Quadro 10 — Resistência à compressão simples (MPa) e capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-casca.....	38
Quadro 11 — Caracterização do solo.....	39
Quadro 12 — Capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-CBC.....	40
Quadro 13 — Caracterização física do solo.....	41
Quadro 14 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{\text{máx}}$, em gcm-3) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-CBC.....	42
Quadro 15 — Resistência à compressão simples (MPa) e capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-CBC.....	42
Quadro 16 — Caracterização física do solo.....	43
Quadro 17 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{\text{máx}}$, em gcm-3) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-CBC.....	43
Quadro 18 — Caracterização física do solo.....	45
Quadro 19 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{\text{máx}}$, em KN/cm ³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-resíduo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal.....	45
Quadro 20 — Resumo dos resultados obtidos nos diversos experimentos de solo-cimento-resíduo apresentados.....	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 SOLO.....	14
2.2 CIMENTO PORTLAND.....	16
2.3 SOLO-CIMENTO.....	17
2.4 TIJOLO SOLO-CIMENTO.....	18
2.5 CASCA DE OVO.....	19
2.6 CASCA DE ARROZ.....	20
2.7 CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	21
2.8 GRITS.....	22
3 METODOLOGIA.....	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
4.1 ADIÇÃO CASCA DE OVO.....	25
4.2 ADIÇÃO CASCA DE ARROZ.....	26
4.3 ADIÇÃO CINZA DO BAGAÇO DE CANA.....	27
4.4 ADIÇÃO GRITS.....	28
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1 ADIÇÃO CASCA DE OVO.....	30
5.2 ADIÇÃO CASCA DE ARROZ.....	32
5.3 ADIÇÃO CINZA DO BAGAÇO DE CANA.....	38
5.4 ADIÇÃO CINZA DO BAGAÇO DE CANA.....	42
5.5 QUADRO RESUMO.....	46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	47
REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O tijolo de alvenaria de solo-cimento é reconhecido como um material de fabricação simples, constituído por solo coesivo, cimento Portland e água. Embora faça o uso do cimento como estabilizador químico, sua produção oferece uma alternativa mais sustentável em comparação aos tijolos convencionais, uma vez que dispensa a etapa de queima, responsável pela emissão de CO_2 na atmosfera. No processo de fabricação do tijolo de solo-cimento, há a possibilidade de incorporação de diferentes materiais em sua composição, seja para aprimorar suas propriedades físicas ou para fins estéticos. A adição de resíduos pode torná-lo ainda mais vantajoso e sustentável.

Resíduos orgânicos, como cascas de ovo, cascas de arroz, cinzas do bagaço de cana e GRITS, contêm elementos comuns aos utilizados na produção de cimento, como óxido de cálcio (CaO), carbonato de cálcio (CaCO_3) e dióxido de silício (SiO_2). Isso confere a esses resíduos o potencial de serem incorporados à dosagem do tijolo de solo-cimento.

No Brasil, esses resíduos são frequentemente descartados de maneira inadequada ou são pouco aproveitados, resultando em problemas ambientais significativos, como o acúmulo em aterros sanitários, contaminação do solo, poluição das águas e a propagação de vetores de doenças, como insetos e roedores.

A utilização desses resíduos na composição do tijolo de solo-cimento não apenas promove a formação de um produto mais econômico e sustentável, ajudando na estabilização do solo e contribuindo para a redução da quantidade de cimento necessária, mas também oferece uma alternativa de destino para esses subprodutos, mitigando assim os problemas ambientais associados a eles.

Diante disso, torna-se essencial realizar estudos comparativos entre diferentes composições do tijolo de solo-cimento com adições de resíduos, a fim de explorar os benefícios que podem surgir dessas misturas. Isso possibilitará a obtenção de produtos com características aprimoradas, expandindo o uso desse material e contribuindo para o avanço da sustentabilidade na construção civil.

Portanto, o objetivo desta pesquisa é fazer uma análise comparativa de trabalhos experimentais conduzidos sobre a integração da casca de ovo, casca de

arroz, cinzas do bagaço de cana e GRITS no tijolo de solo-cimento, visando compreender seus efeitos nas propriedades físico-mecânicas do material. A análise detalhada desses materiais alternativos permitirá uma avaliação abrangente de seu potencial contributivo para aprimorar as características do tijolo de solo-cimento, promovendo assim avanços na busca por soluções mais sustentáveis e eficientes na construção civil.

1.1 OBJETIVO GERAL

Fazer uma análise comparativa de artigos experimentais que estudam o comportamento da inclusão de resíduos orgânicos, como cascas de ovos, cascas de arroz, cinzas do bagaço de cana e GRITS, nas propriedades físico-mecânicas do tijolo de solo-cimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por práticas sustentáveis na construção civil impulsiona a busca por materiais de construção que minimizem impactos ambientais e promovam eficiência econômica. O tijolo de solo-cimento surge como uma alternativa promissora aos tijolos convencionais, principalmente por eliminar a necessidade de queima, um processo que emite grandes quantidades de CO₂ e contribui para as mudanças climáticas. No entanto, para potencializar ainda mais a sustentabilidade e a eficiência desse material, é crucial explorar maneiras de aprimorar suas propriedades e reduzir o uso de cimento, um componente de alto custo e impacto ambiental.

A incorporação de resíduos orgânicos, como cascas de ovos, cascas de arroz, cinzas do bagaço de cana e GRITS, no tijolo de solo-cimento pode oferecer benefícios significativos. Esses resíduos são frequentemente subutilizados ou descartados inadequadamente, resultando em problemas ambientais sérios, como o acúmulo em aterros sanitários, a poluição do solo e da água e a propagação de doenças. A utilização desses resíduos não só reduz o impacto ambiental associado ao seu descarte, mas também pode melhorar as propriedades físicas e mecânicas

dos tijolos, contribuindo para a sua valorização no mercado e a sustentabilidade na construção civil.

A importância desta pesquisa reside na necessidade de explorar e validar o potencial desses resíduos como adições para o tijolo de solo-cimento. Estudos comparativos e experimentais são essenciais para avaliar como diferentes tipos de resíduos podem influenciar as características do tijolo, como sua resistência, durabilidade e propriedades estéticas. A integração de resíduos orgânicos pode resultar em tijolos com melhor desempenho, reduzir a quantidade de cimento necessária e promover uma gestão mais eficiente dos resíduos, alinhando-se com os objetivos de sustentabilidade e inovação na construção civil.

Portanto, a realização deste estudo é importante para promover práticas de construção mais sustentáveis e eficientes, e para oferecer alternativas que atendam às necessidades do setor da construção civil e ao mesmo tempo reduzam os problemas ambientais associados ao descarte de resíduos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A construção civil vem buscando soluções e métodos construtivos mais sustentáveis, tendo em vista que é um dos setores que mais polui e gera resíduos ao meio ambiente. No Brasil, é o setor mais poluente. Ainda que o país possua um alto déficit habitacional, o Ministério das Cidades estima que 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanos do Brasil são provenientes da construção civil, destacam-se nesse contexto, os resíduos gerados pelo uso do cimento e do tijolo cerâmico.

Esse cenário é fruto da escolha de materiais e técnicas construtivas que nem sempre são as mais adequadas para cada região do país, como também pelo desperdício gerado por quantitativos incorretos. Contribui para isso, o fato de que o Brasil recicla muito pouco os seus resíduos.

Diante disso, a utilização de materiais e técnicas construtivas alternativas e mais eficientes torna-se necessária para mitigar esse problema e o tijolo de solo cimento apresenta-se como uma opção, pela sua fácil aplicação, economicidade e a possibilidade de gerar melhorias às construções por admitir adições.

A possibilidade de incrementar à mistura materiais residuais comumente descartados como a casca de ovo, casca de arroz, cinza do bagaço de cana e GRITS contribui com a questão ambiental, fortalecendo a ideia de se desenvolver uma cultura de maior responsabilidade ambiental na construção civil através da criação e utilização de novos métodos construtivos.

2.1 SOLO

O solo é um conjunto de materiais minerais, orgânicos, água e ar, não consolidados, normalmente localizado à superfície da terra, com atividade biológica e capacidade para suportar a vida das plantas (Castro, 2008). As partículas sólidas do solo são provenientes das ações do intemperismo que atuam sob as rochas, as quais são um conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que promovem a quebra física ou alterações químicas nas rochas e minerais, adequando-lhes ao ambiente local (SILVEIRA, 1966). O conjunto desses processos leva à formação dos

solos, que no geral se diferenciam pelo tamanho e composição química de suas partículas (PINTO, 2000).

Segundo LIMA (2010), o uso do solo enquanto material de construção data desde os primórdios da humanidade, quando era usado para construir abrigos, sobretudo em locais onde o manuseio de rochas e madeira era difícil. No Brasil, o solo sob a aplicação de taipa-de-pilão e de pau-a-pique foi fortemente utilizado por mais de 400 anos em cidades como Ouro Preto e Diamantina. O uso do solo foi perdendo força, no entanto, a partir de meados do século XIX, quando perdeu espaço para o cimento Portland, e seu uso se restringiu quase que completamente às zonas rurais.

O solo enquanto material de construção pode ser usado de forma natural, caso seja de boa qualidade e atinja os requisitos de desempenho para os fins aos quais se dedica. De forma contrária, deve passar por algum processo de estabilização, que promova correções granulométricas ou estabilização química, sendo o cimento Portland um dos principais agentes estabilizantes incorporados (FERRAZ *et al.*, 2000).

O solo é o componente mais utilizado para a obtenção do solo-cimento. Em tese, qualquer solo pode ser utilizado na composição, com exceção dos solos orgânicos, pois apresentam açúcares e ácidos que podem interferir no pH da mistura, além de inibirem a hidratação do cimento. Alguns solos, no entanto, podem inviabilizar economicamente a execução do material, pois necessitam de algum processo de estabilização com cimento, ou de correção da granulometria, que pode ser feita com a mistura de dois solos ou com a adição de areia grossa.

Vessozi (2016) explica que os solos granulares, com maiores teores de areia, são mais recomendados em comparação aos solos argilosos, pois necessitam de menores teores de cimento para atingir níveis de resistência satisfatórios. Os solos mais finos, por sua vez, necessitam de maiores quantidades para sua estabilização e são de difícil pulverização.

A NBR 10832 (1989) estabelece algumas características que o solo escolhido deve atender:

- 100% do solo deve passar pela peneira ABNT 4,8mm (n.º 4);
- 10 a 50% do solo deve passar pela peneira ABNT 0,075mm (n.º 200);
- Limite de Liquidez menor ou igual a 45%;
- Limite de Plasticidade menor ou igual a 18%.

A composição granulométrica ideal para o solo-cimento, segundo PINTO (1980) é:

- 15% de siltes e argilas;
- 20% de areia fina;
- 30% de areia grossa;
- 35% de pedregulho.

Castro (2008) explica que é importante que o solo seja composto por maiores grãos de areia e pedregulhos, pois são materiais inertes, que necessitam de menos cimento para se aglomerarem e garantem mais resistência final. Destaca também que, no entanto, o solo não pode ser isento de siltes e argilas, pois a resistência inicial do solo-cimento decorre da coesão da fração fina, que também é importante para melhorar a compactação e o acabamento do solo-cimento. Já a presença de siltes e argilas em teores maiores de 50% é prejudicial ao solo cimento, pois, por sofrerem uma maior retração, acarretam fissuras, trincas ou rachaduras no material depois de seco, comprometendo sua resistência (PIRES, 2004).

2.2 CIMENTO PORTLAND

O cimento pode ser definido como um aglomerante hidráulico quimicamente ativo, obtido pela moagem do clínquer Portland com adição de gipsita, a qual atua como um retardador de início de pega. O Clínquer Portland, por sua vez, é o conjunto de silicatos e aluminatos de cálcio, obtidos através do aquecimento de uma mistura íntima e convenientemente dosada de calcários e argilas. Após a hidratação, o cimento passa por um processo de pega e endurecimento, no qual seus compostos se cristalizam e adquirem resistência (GRANDE, 2003).

O cimento possui propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. De maneira geral, quando misturado a outros materiais, o uso do cimento visa trazer melhorias de desempenho (LIMA, 2010). LOPES (2002) pontua que o teor mínimo de cimento incorporado às misturas deve assegurar a estabilidade necessária e permanência de suas características, limitando-se ao fator econômico.

O cimento, ao ser incorporado ao solo, envolve seus grãos, formando agregados que aumentam de tamanho conforme a sua hidratação. A escolha do teor mínimo de cimento para a estabilização do solo é aquela que, sendo a mais econômica, assegura a permanência das propriedades da mistura do solo-cimento e- deve ser feita em função das características do solo, como o teor de umidade e a densidade obtida na compactação (LOPES, 2002) e (CASTRO, 2008).

Os cimentos utilizados devem atender às especificações das normas:

- NBR 5732 – Cimento Portland Comum;
- NBR 5733 – Cimento Portland de Alta Resistência Inicial;
- NBR 5735 – Cimento Portland Alto-Forno;
- NBR 5736 - Cimento Portland Pozolânico.

2.3 SOLO-CIMENTO

O solo-cimento é produto de uma mistura íntima, proporcionalmente dosada e compactada de solo com o aglomerante hidráulico artificial cimento Portland e água, de tal modo que haja uma estabilização do solo pelo cimento, melhorando as propriedades da mistura. De acordo com ABCP (1986), a estabilização de solo-cimento é o produto da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas que, após a compactação e cura úmida, resulta num produto com características mínimas exigidas de resistência mecânica e durabilidade. O resultante deste processo é um material com boa resistência à compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

O primeiro relato do uso do solo-cimento data de 1915 nos Estados Unidos, quando o engenheiro Bert Reno pavimentou uma rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland (GRANDE, 2003). No Brasil, os estudos

sobre solo-cimento ganharam destaque com a regulamentação de sua aplicação pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) na década de 1930. Segundo Lima (2010) o seu uso foi mais direcionado à pavimentação, ainda que sua implementação tenha sido com o intuito de reduzir custos na construção de habitações populares.

O solo cimento foi usado como base de pavimentação em obras como a do aeroporto de Petrolina-PE e desde o marco inicial de seu uso, até os dias atuais, somam-se mais de 25.000km de rede pavimentada no Brasil, constituindo cerca de 90% das bases das rodovias do país. Sua aplicação em habitações se deu em 1948 com a construção de casas do Vale do Florido em Petrópolis-RJ, no entanto sua aplicação não ganhou força nessa finalidade, sempre perdendo espaço para outros materiais industrializados que vinham surgindo no mercado (GRANDE, 2003).

Atualmente, o solo cimento ainda é utilizado no Brasil, majoritariamente no processo de pavimentação, contudo, também é matéria prima para tijolos ecológicos e fabricação de paredes monolíticas.

2.4 TIJOLO SOLO-CIMENTO

O tijolo de solo cimento (tijolo-sc) é o resultado de uma mistura compactada e curada de solo, cimento e água, dosada em proporções adequadas. Esse material apresenta inúmeras vantagens frente aos tijolos convencionais, a começar pelo processo de fabricação, que de modo geral, é bastante simples. Não exige mão de obra técnica, qualquer pessoa treinada pode executar, e pode ser feito no próprio local da obra, inclusive, com o próprio solo do terreno, caso apresente as exigências necessárias. Após o preparo da mistura de solo, cimento e água nas proporções adequadas, a massa é compactada em uma prensa manual ou hidráulica (LIMA, 2010).

O processo de cozimento que é feito no tijolo cerâmico é dispensado na fabricação do tijolo-sc, o que torna o material mais sustentável, tendo em vista que a queima é responsável por liberar CO₂, principal gás de efeito estufa. Além disso, os resíduos do material podem ser reutilizados para fabricação de novas peças, pois

podem ser moídos e prensados novamente, reduzindo desperdícios no processo de produção.

O tijolo-sc apresenta bom conforto térmico e acústico. O seu custo de produção é baixo e a economia se estende para a execução da alvenaria, pois exige uma quantidade menor de argamassa ligante e por possuir um formato de encaixe, torna o processo muito mais rápido. As técnicas corretas aplicadas à execução da alvenaria de solo cimento permitem que os furos do tijolo sejam utilizados para passagem de tubulações, condutores e até mesmo sirvam como formas para a estrutura da edificação. Tudo isso torna o ambiente de obra mais limpo e organizado, e a redução do “quebra-quebra” diminui também o desperdício do material.

Uma outra vantagem que esse material apresenta, é a redução do uso de argamassas de revestimento já que a qualidade e o aspecto final das peças são notadamente superiores, com maior regularidade dimensional e planicidade de suas faces, podendo até ser utilizado em alvenaria aparente, necessitando apenas de uma cobertura impermeabilizante como acabamento (SOUZA, 2006) e (LIMA, 2010).

O tijolo-sc ainda permite a incorporação de outros materiais em sua composição. Cordeiro *et al.* (2004) destaca que resíduos como agregados produzidos com entulho reciclado e rejeitos industriais (sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto forno e outros), além de resíduos agroindustriais como a casca de arroz, cinzas de bagaço de cana, casca de ovo, grits; têm sido incorporados aos tijolos-sc é apresentado melhorias as propriedades físico-mecânicas do material.

2.5 CASCA DE OVO

O ovo é um dos alimentos mais consumidos no mundo. Sua versatilidade permite para além do consumo individual, que ele seja utilizado também no preparo de outros alimentos como massas, pães e bolos. Dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2022) em 2021 indicaram que o consumo per capita brasileiro de ovo é de 257 unidades anuais.

Pesquisas realizadas por Almeida *et al.* (2019) mostraram que os ovos comerciais têm em média 66,21g, sendo a casca do ovo responsável por

aproximadamente 7,75% desse peso. No ano de 2021, a população brasileira foi estimada em 212,5 milhões de pessoas (IBGE, 2022). Reunindo esses dados, pode-se estimar que a quantidade de resíduos de casca de ovo produzidos em 2021 no Brasil foi em torno de 279 mil toneladas, volume considerável que é descartado em aterros e que poderia ser valorizado na produção de tijolos de solo-cimento.

A casca do ovo é formada por várias camadas porosas, sendo sua camada calcária, composta por fibras protéicas, entre as quais se inserem cristais de carbonato de cálcio (96%), carbonato de magnésio (1%) e fosfato de cálcio (1%) (NEVES, 1998) e (OLIVEIRA, 2009). Além disso, quando passa por um processo de incineração, o carbonato de cálcio (CaCO_3) presente no ovo é decomposto em óxido de cálcio (CaO) e dióxido de carbono (CO_2).

O óxido de cálcio é comumente utilizado na construção civil. Conhecida como Cal viva, virgem ou cáustica, o material proporciona correção do pH dos solos e atua também como estabilizante de solos, aumentando a resistência à compressão simples (SARTORI, 2015).

A casca do ovo, por se tratar de uma fonte de CaCO_3 , pode vir a ser útil na composição do tijolo de solo-cimento, contribuindo para a melhora das suas propriedades físico-mecânicas, além de se apresentar como uma solução ambiental para este resíduo que geralmente é descartado em aterros sanitários e apresenta impactos ambientais pelo seu volume expressivo.

2.6 CASCA DE ARROZ

A casca de arroz é um subproduto originado do processo de moagem do arroz, representando uma parte significativa da produção total de arroz no Brasil. Em 2022, a produção anual de arroz atingiu cerca de 10,6 milhões de toneladas, de acordo com dados do IBGE. Dessa produção, a casca corresponde a aproximadamente 20%, o que equivale a aproximadamente 2,12 milhões de toneladas no mesmo ano (AKASAKI & SILVA, 2001).

A disposição dos resíduos de casca de arroz, caracterizados por sua granulometria uniforme, geralmente se concentra em poucos locais específicos, facilitando, assim, sua comercialização. No entanto, devido à falta de

aproveitamento, esses resíduos frequentemente acabam sendo descartados, representando um desperdício desse potencial recurso (TEIXEIRA, 2014; BERALDO; TOJAL, 2002).

Em termos de composição, a casca de arroz é predominantemente composta por dióxido de silício (SiO_2), juntamente com percentuais variáveis de celulose, hemicelulose, lignina e cinzas. Esses elementos constituem de 25% a 35% de celulose, 18% a 21% de hemicelulose, 26% a 31% de lignina e 15% a 25% de cinzas (NAIR *et al.*, 2008).

As características da casca de arroz apontam para seu potencial como agente aglutinante em matrizes minerais, como o cimento, em construções sustentáveis.

Essa aplicação visa não apenas à substituição parcial do cimento Portland, mas também à melhoria da durabilidade do produto final, resultando em benefícios econômicos e ambientais significativos.

Estudos recentes, como o trabalho de Milani e Freire (2006) e Ferreira *et al.* (2008), encontraram resultados promissores, ao explorar o potencial de reutilização da casca de arroz para melhorar as propriedades físico-mecânicas do solo-cimento, visando desenvolver materiais viáveis e sustentáveis para uso na indústria da construção civil.

2.7 CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O Brasil destaca-se como o principal produtor global da cana de açúcar, e é responsável pela geração de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas anuais. (FARIA; GURGEL; HOLANDA, 2012). As indústrias dedicadas à produção de álcool e açúcar, bem como as que utilizam esse produto para geração de energia, geram como subproduto, após a queima, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC), a qual muitas vezes é descartada de maneira incorreta no meio ambiente.

Quanto à composição do bagaço de cana, este é constituído por cerca de 50% de celulose, 25% de hemicelulose e 25% de lignina. Após o processo de queima, suas cinzas apresentam uma composição abundante em dióxido de silício (SiO_2), representando 60% da massa, além de proporções de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e CaO ,

as quais variam de acordo com o tipo de cana e o método de cultivo empregado. (GIORDANO, 2016).

A presença de sílica amorfa confere à CBC o potencial de desenvolver atividade pozolânica. O termo 'pozolânico' refere-se a materiais, sejam orgânicos ou inorgânicos, com composição silicosa ou alumio-silicosa que, quando finamente moídos, reagem com o hidróxido de cálcio na presença de água, resultando na formação de compostos estáveis com alto poder aglomerante, tais como silicatos e aluminatos de cálcio (GIORDANO, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Diversos estudos foram conduzidos para investigar a viabilidade da incorporação das cinzas do bagaço de cana em diferentes aplicações, como no solo cimento, como observado nas pesquisas de Kazmi *et al.* (2016) e de Faria, Gurgel e Holanda (2012). Os resultados indicaram que essa prática conduz a materiais mais leves, economicamente vantajosos, ecológicos e que mantêm suas propriedades físico-mecânicas intactas.

2.8 GRITS

O resíduo GRITS é uma decorrência das operações realizadas nas indústrias de papel e celulose, surgindo no processo de calcificação, uma das etapas fundamentais na recuperação química dos compostos empregados na fabricação da celulose (PINHEIRO *et al.*, 2013). Essa substância sólida exibe uma textura granular semelhante à areia e uma tonalidade acinzentada. Em termos de composição, apresenta aproximadamente 20% de óxido de cálcio (CaO) e 79% de dióxido de silício (SiO₂), ambos componentes abundantemente presentes na produção de cimento (MACHADO; PEREIRA; PIRES, 2003).

No cenário atual, com o crescimento contínuo da indústria de celulose, observa-se um aumento significativo na produção de resíduos GRITS. Segundo Pereira (2005), estima-se que a geração deste resíduo pode chegar a 12 kg por tonelada de celulose seca naturalmente. Esse incremento na produção levanta preocupações relacionadas à gestão adequada dos resíduos sólidos gerados pelo setor, uma vez que tais materiais tendem a ser armazenados internamente nas instalações das fábricas, acarretando custos elevados de armazenamento e

potenciais problemas ambientais, como a poluição do solo e a contaminação da água.

O potencial de aproveitamento do GRITS tem sido objeto de estudos, como demonstrado por Pereira, Machado e Carvalho (2006), que evidenciaram sua capacidade de atuar como estabilizante de solo. Além disso, a fabricação de tijolos de solo-cimento com a incorporação do GRITS apresenta vantagens ambientais significativas, uma vez que não apenas proporciona uma destinação adequada para esse resíduo, mas também contribui para a geração de novos materiais para a indústria da construção civil.

3 METODOLOGIA

A pesquisa iniciou-se com o objetivo de identificar alternativas ecologicamente sustentáveis na construção civil, com foco na análise do uso de solo-cimento como material construtivo, por apresentar um processo de fabricação mais sustentável frente a outras alvenarias tradicionais, contando com a seguinte estrutura:

Revisão da Literatura: O levantamento bibliográfico foi realizado nas plataformas de periódicos CAPES e em bases de dados internacionais, priorizando trabalhos em português e complementando com línguas estrangeiras. Foram utilizados termos de pesquisa como "solo-cimento", "sustentabilidade" "construção", e "adições".

Seleção dos Estudos Relevantes: Os artigos foram selecionados com base na relevância para o tema, destacando-se autores como: Regalin Júnior e Nienov (2022); Milani e Freire (2005); Ferreira, Gobo e Cunha (2008); Giordano (2016); Valenciano e Freire (2003); Pinheiro *et al.* (2013); Miranda *et al.* (2011). Esses autores foram escolhidos por apresentarem pesquisas consolidadas sobre a incorporação de adições de materiais orgânicos ao solo-cimento, especialmente resíduos como fibras vegetais e casca de ovo. A análise concentrou-se nos seguintes parâmetros, definidos pela norma NBR 8491;

Resistência à Compressão: Revisamos os resultados dos estudos para avaliar a capacidade dos tijolos de solo-cimento, fabricados com adições orgânicas, de suportarem cargas de compressão simples;

Absorção de Água: Avaliamos como as adições influenciam a absorção de água dos tijolos, fundamental para verificar a durabilidade do material.

Comparação de Resultados: Após a leitura dos artigos, foi feita uma análise comparativa dos dados, com o objetivo de identificar quais adições apresentaram os melhores desempenhos nos quesitos de resistência à compressão simples e absorção de água, possibilitando a discussão de qual compósito se mostrou mais eficiente como alternativa sustentável ao uso exclusivo do cimento Portland.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa dedicou-se a consolidar e analisar resultados obtidos em estudos experimentais envolvendo a incorporação de resíduos orgânicos no solo-cimento, avaliando os efeitos da resistência à compressão e absorção de água, a fim de verificar o cumprimento dos padrões normativos que regem a fabricação de tijolos de solo-cimento.

4.1 ADIÇÃO CASCA DE OVO

Regalin Júnior e Nienov (2022) investigaram os efeitos da incorporação da casca de ovo no solo cimento, a fim de proporcionar melhorias físicas e mecânicas ao material.

Regalin Júnior e Nienov (2022), a fim de determinar as características do solo, realizaram ensaios de granulometria, conforme NBR 7181 (ABNT, 2018); assim determinaram os limites de liquidez e plasticidade, de acordo, respectivamente, com as normas NBR 7180 (ABNT, 2016) e NBR 6459 (ABNT, 2016); e realizaram o ensaio para definir o peso específico dos grãos baseando-se no ME 093 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, 19). O ensaio de compactação do solo, conforme NBR 7182 (ABNT, 2016), foi feito para os traços, em porcentagem de solo-casca + cimento (porcentagem de cimento em relação à massa total): 96-4 + 8; 92-8 + 8; 88-12 + 8. Neste ensaio, foi considerado para valores de umidade ótima e massa específica seca máxima, a média dos resultados obtidos nos 3 ensaios.

As cascas de ovo foram lavadas individualmente, com água corrente, e secas ao sol. Posteriormente, foram secas em forno de alta temperatura (500 °C), fragmentadas e peneiradas, sendo a fração passante na peneira de 0,3 mm armazenada e utilizada nos ensaios posteriores. A moldagem dos corpos de prova foi feita para os teores de solo-casca (em %) que variaram de 100-0 a 88-12, em incrementos de 2%, para os quais, o teor de cimento se manteve de 8% com relação à massa total. Os corpos de prova foram levados à cura dentro de sacos fechados, quando ao fim de 28 dias foram rompidos à compressão simples.

4.2 ADIÇÃO CASCA DE ARROZ

Milani e Freire (2006) assim como Ferreira, Gobo e Cunha (2008) exploraram os efeitos da inclusão da casca de arroz nas propriedades físico-mecânicas do tijolo de solo-cimento, com o objetivo de aprimorar a fabricação de elementos construtivos alternativos.

Ambos os estudos procederam com a trituração e peneiramento da casca de arroz, seguidos pela imersão dos resíduos em solução de cal hidratada e subsequente secagem. Para definir as dosagens da mistura, adotaram uma metodologia que começava com uma proporção de 10% de cimento e resíduo em relação à massa do solo seco. Em seguida, testaram combinações variando de 100% de cimento e 0% de casca até 60% de cimento e 40% de casca, em incrementos de 10%. Utilizando o ensaio de Proctor normal, determinaram a umidade ótima ($U_{ot}\%$) e a massa específica aparente ($\gamma_{m\acute{a}x} \text{ gcm}^{-3}$) das composições de solo, cimento e resíduo.

Ferreira, Gobo e Cunha (2008) produziram e prensaram os tijolos conforme a norma NBR 10832 (ABNT, 1989), submetendo-os inicialmente a uma cura em câmara úmida por 7 dias e, em seguida, à sombra e protegidos das intempéries climáticas por até 182 dias. Os tijolos foram testados em compressão simples aos 7, 28, 56, 91 e 182 dias de idade, conforme a NBR 8492, enquanto o ensaio de absorção de água foi realizado apenas aos 7 dias, seguindo a NBR 8492 (ABNT, 1992b).

Por sua vez, Milani e Freire (2006) seguiram a norma NBR 12024 (ABNT, 1992c) na confecção dos corpos de prova, que foram curados por 7 dias em câmara úmida e mantidos em ambiente laboratorial até o momento do teste. O ensaio de absorção de água foi realizado após 7 dias, enquanto os testes de compressão simples foram conduzidos aos 7 e 28 dias, conforme a NBR 12025 (ABNT, 1990).

Neste experimento, os corpos de prova foram submetidos à imersão em água por 24 horas para determinar a massa saturada, seguida de secagem em estufa a 105 °C até atingirem a constância de massa, representando a massa seca. A diferença percentual entre as massas saturada e seca foi calculada, proporcionando o valor da capacidade total de absorção de água, considerada em base seca.

4.3 ADIÇÃO CINZA DO BAGAÇO DE CANA

Estudos como o de Giordano (2016) e o de Valenciano e Freire (2003) foram realizados para explorar os efeitos da incorporação das cinzas do bagaço de cana (CBC) nas propriedades físicas e mecânicas do tijolo de solo cimento.

Valenciano e Freire (2003) realizaram análises laboratoriais para determinar as propriedades físicas e químicas da cinza do bagaço de cana-de-açúcar (CBC). As características dos solos foram determinadas conforme as normas NBR 07215 (ABNT, 1984) para a massa específica dos sólidos, NBR 06459 e NBR 07180 (ABNT, 1984) para os limites de liquidez e plasticidade, respectivamente, e NBR 07181 (ABNT, 1984) para a análise granulométrica. Os parâmetros de compactação foram obtidos por meio do ensaio de compactação normal de Proctor, seguindo a NBR 07182 (ABNT, 1986).

Na composição de cimento e cinzas, foram consideradas dosagens variando de 100% de cimento e 0% de cinzas até 50% de cimento e 50% de cinzas, em incrementos de 10%. A relação água-cimento foi determinada pelo método "Flow Table" conforme a NBR 11580 (ABNT, 1991). Os corpos de prova foram moldados de acordo com a NBR 07215 (ABNT, 1996) e submetidos à cura em câmara úmida.

Para a mistura de solo, cimento e cinzas, foi adotada uma proporção de 97% de solo e 3% de cimento e cinzas, com 80% correspondendo ao cimento e 20% às cinzas do bagaço de cana. As misturas foram compactadas de acordo com a NBR 12023 (ABNT, 1990) para determinar a massa específica aparente ($\gamma_{\text{máx}}$ gcm⁻³) e a umidade ótima ($U_{\text{ót}}$ %), considerando os valores de umidade do ensaio de compactação da mistura de cimento e cinzas. Os corpos de prova foram moldados conforme a NBR 12024 (ABNT, 1992) e curados em câmara úmida por 7 dias. Em seguida, foram submetidos a ensaios de compressão simples e absorção de água aos 28 e 60 dias.

No estudo conduzido por Giordano (2016), constatou-se que as cinzas coletadas apresentavam elevado teor de umidade e impurezas, como carbono e resíduos de bagaço não completamente queimados durante o processo de combustão. O experimento foi organizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com um esquema fatorial 3 x 2, resultando em 6 tratamentos e 13

repetições, totalizando 78 tijolos. A quantidade de cimento foi mantida constante, enquanto uma parte do solo dos tijolos foi substituída por cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Os tratamentos foram distribuídos em 3 dosagens de cinzas (0%, 30% e 40%). Os traços iniciais adotados, em proporção volumétrica, foram (cimento:solo:cinza): (1:6:4); (1:7:3) e (1:10:0), posteriormente convertidos para proporção em massa.

Para a fabricação dos corpos de prova, após a homogeneização dos componentes secos, foi adicionada água na proporção de 10% da massa da mistura de solo, cimento e cinzas. Os tijolos foram submetidos à cura em local protegido, cobertos por uma lona preta e umedecidos duas vezes ao dia durante 7 dias. Após esse período, foram armazenados em local protegido por mais 180 dias, até a realização dos ensaios de resistência à compressão simples e absorção de água, conforme as normas NBR 10834 e NBR 10836, respectivamente.

4.4 ADIÇÃO GRITS

Miranda *et al.* (2011) assim como Pinheiro *et al.* (2013) investigaram o potencial de utilização do resíduo GRITS em tijolos de solo cimento, a fim de checar sua influência nas propriedades físico-mecânicas do material.

Pinheiro *et al.* (2013), a priori realizou testes de composição para obter um traço que pudesse incorporar a maior quantidade de GRITS, respeitando as exigências normativas, partindo das porcentagens referentes à massa de 100% de solo e 0% de GRITS, até 0% de solo e 100% de GRITS, em incrementos de 25%.

Para a mistura de solo e GRITS, foi feita a análise granulométrica conforme a NBR 7181 (ABNT, 1984a). Os ensaios para determinar o limite de liquidez e plasticidade obedeceram respectivamente às normas NBR 6459 (ABNT, 1984b) e NBR 7180 (ABNT, 1984c). O ensaio de compactação foi feito seguindo a NBR 7182 (ABNT, 1984d). O GRITS passou por ensaio de absorção atômica dos metais para a definição de sua análise química.

Os tijolos foram fabricados em teores de solo-GRITS, em massa, referentes às porcentagens de 100-0, 75-25, 50-50 e 37,5-62,5. Para a mistura, utilizou-se a

umidade ótima obtida no ensaio de compactação e após a prensagem, os tijolos foram postos à cura, em local sombreado, onde foram umedecidos durante 7 dias, até a realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água que seguiram os procedimentos da NBR 10836 (ABNT, 1994b).

O estudo de Miranda *et al.* (2011) partiu de um traço base de 1:14 (cimento:solo), que garantia a resistência mecânica exigida em norma e ao mesmo tempo absorveria a maior quantidade de resíduo para uma menor quantidade de cimento. As combinações de solo-GRITS tiveram as porcentagens referentes à massa variando de 100% de solo e 0% de GRITS, até 0% de solo e 100% de GRITS, em incrementos de 25%.

Para caracterizar o material solo-GRITS, foram realizados os seguintes ensaios: análise granulométrica, segundo a NBR 7181 (ABNT, 1984); limites de consistência – limite de liquidez (LL), segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984); e limite de plasticidade (LP), segundo a NBR 7180 (ABNT, 1984). O ensaio de compactação foi feito à luz da NBR 7182 (ABNT, 1986).

Os tijolos foram moldados conforme a NBR 10832 (ABNT, 1989), utilizando-se dos traços que possuíam plasticidade suficiente para serem retirados da prensa manual e com a utilização de 90% da umidade ótima obtida em ensaio de compactação, a fim de aumentar a resistência dos tijolos, que se beneficia no ramo seco da curva de compactação. Posteriormente os tijolos foram curados com irrigação manual e armazenados em local protegido das intempéries. Ao fim, foram realizados os ensaios de absorção de água e o ensaio de resistência à compressão aos 14 e 28 dias, conforme NBR 8492 (ABNT, 1984).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ADIÇÃO CASCA DE OVO

Regalin Júnior e Nienov (2022) utilizaram um solo com as seguintes características:

Quadro 1 — Caracterização física do solo

Caracterização física do solo							
Solo	Granulometria			Índices Físicos			
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	y_s (gcm ⁻³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Argiloso	3,62	26,64	69,74	2,91	53,00	37,00	16,00

Fonte: Regalin Júnior e Nienov (2022). *Adaptada.*

Nos ensaios de compactação simples, é possível verificar que os valores de massa específica seca e umidade ótima foram pouco afetados, ainda assim, nota-se que a massa específica aumentou, ao passo que a umidade ótima diminuiu (Quadro 2).

Quadro 2 — $\gamma_{m\acute{a}x}$ e U_{ot} das composições solo-cimento-casca

Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$, em gcm ⁻³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-casca.			
Identificação	Composição	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (gcm ⁻³)	U_{ot} (%)
T1	0% cimento + (100% solo + 0% casca)	1,41	33,00
T2	8% cimento + (96% solo + 4% casca)	1,45	30,80
T3	8% cimento + (92% solo + 8% casca)	1,45	30,20
T4	8% cimento + (88% solo + 12% casca)	1,48	28,70

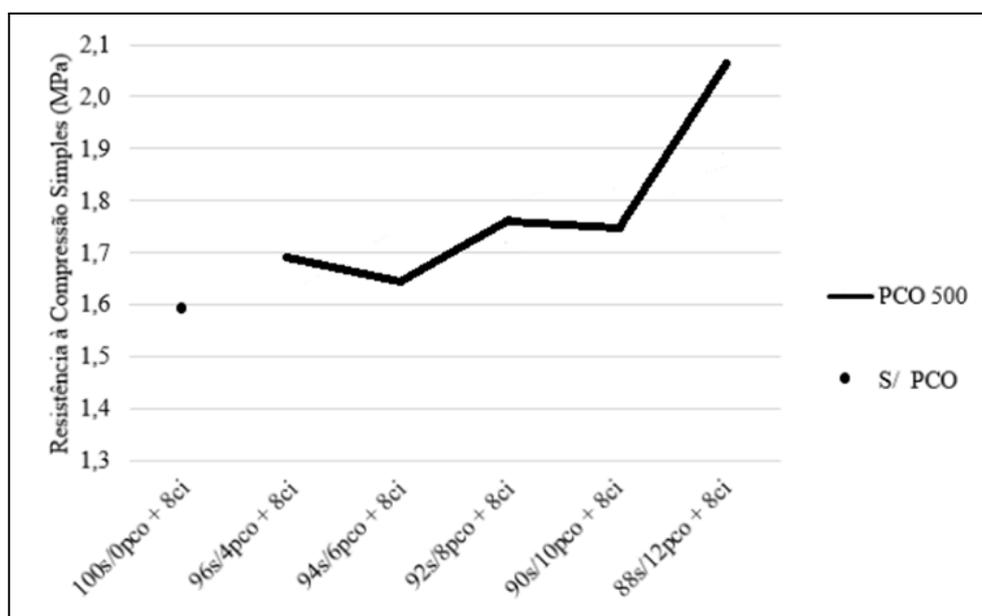
Fonte: Regalin Júnior e Nienov (2022). *Adaptada.*

O ensaio de resistência à compressão, realizado aos 28 dias, demonstrou que houve uma tendência de aumento do valor da resistência. A composição com 88% de solo + 12% de casca + 8% de cimento obteve o melhor resultado (Quadro 3 e Figura 1).

Quadro 3 — Resistência à compressão simples (MPa) dos tijolos moldados

Resistência à compressão simples (MPa) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-casca.	
Composição	Compressão Simples (MPa)
	28 Dias
0% cimento + (100% solo + 0% casca)	1,59
8% cimento + (96% solo + 4% casca)	1,68
8% cimento + (94% solo + 8% casca)	1,64
8% cimento + (92% solo + 8% casca)	1,76
8% cimento + (90% solo + 10% casca)	1,74
8% cimento + (88% solo + 12% casca)	2,06

Fonte: Regalin Júnior e Nienov (2022). *Adaptada.*

Figura 1 — Valores de resistência à compressão simples dos CPs de solo-cimento-casca

Fonte: Regalin Júnior e Nienov (2022). *Adaptada.*

5.2 ADIÇÃO CASCA DE ARROZ

Milani e Freire (2006) utilizaram um solo com as seguintes características:

Quadro 4 — Caracterização física do solo

Caracterização física do solo							
Solo	Granulometria			Índices Físicos			
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Y_s (gcm ⁻³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Argiloso	27,60	34,50	37,90	3,06	43,60	32,20	11,40

Fonte: Milani e Freire (2006). *Adaptada*.

Os corpos de prova, que foram moldados com as porcentagens de 8, 12, 14 e 18% de cimento-casca em relação à massa total do solo, apresentaram os valores de umidade ótima representados nos Quadros 5 e 6, nas quais é possível verificar que os valores de absorção d'água tenderam a aumentar conforme o aumento de casca de arroz incorporada à mistura. Esses corpos de prova também foram ensaiados à compressão simples, com os valores representados nas Figuras 2 e 3, e os tratamentos que atingiram uma resistência maior que 1,5 MPa foram ensaiados novamente, conforme Figura 4 e Quadro 4.

Quadro 5 — Valores de umidade ótima das misturas de solo-cimento-casca de arroz

Valores de umidade ótima (%) das misturas de solo-cimento-casca de arroz.			
Identificação	Composição	Média	DPM*
	Testemunha solo (test.)	26,50	0,50
C1	8% (100% cimento + 0% casca)	25,95	0,40
C2	8% (90% cimento + 10% casca)	26,37	0,06
C3	8% (80% cimento + 20% casca)	27,37	0,15
C4	8% (70% cimento + 30% casca)	28,33	0,12
C5	8% (60% cimento + 40% casca)	28,38	0,13
C6	12% (100% cimento + 0% casca)	25,92	0,08
C7	12% (90% cimento + 10% casca)	27,13	0,21
C8	12% (80% cimento + 20% casca)	27,67	0,12
C9	12% (70% cimento + 30% casca)	27,67	0,47
C10	12% (60% cimento + 40% casca)	28,17	0,15

*DPM - desvio-padrão médio.

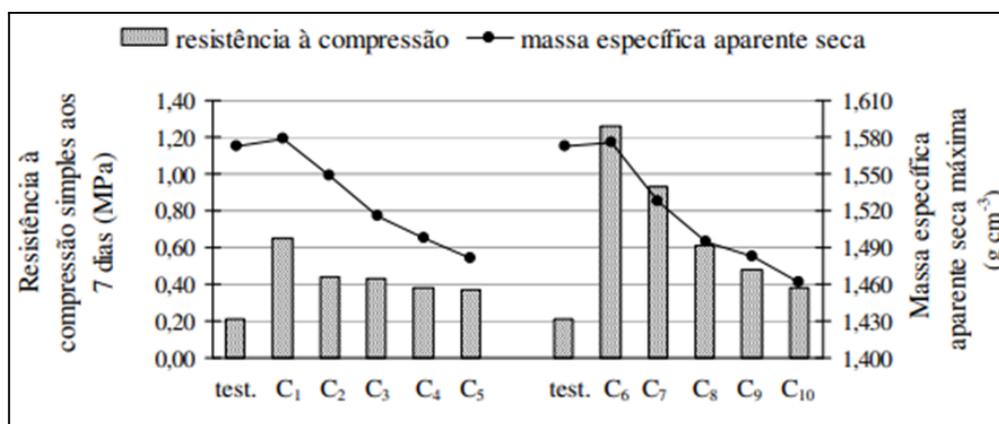
Fonte: Milani e Freire (2006). *Adaptada*.

Quadro 6 — Valores de umidade ótima das misturas de solo-argiloso-casca de arroz

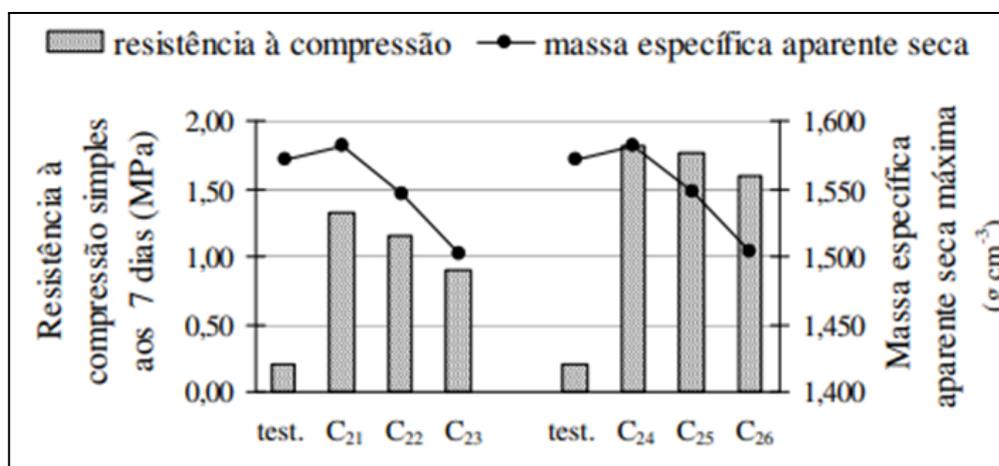
Valores de umidade ótima (%) das misturas de solo argiloso-cimento-casca de arroz			
Identificação	Composição	Média	DPM*
	Testemunha solo	26,50	0,50
C21	14% (100% cimento + 0% casca)	24,20	0,10
C22	14% (90% cimento+ 10% casca)	25,63	0,06
C23	14% (80% cimento + 20% casca)	26,10	0,10
C24	18% (100% cimento+ 0% casca)	24,73	0,12
C25	18% (90% cimento + 10% casca)	26,10	0,17
C26	18% (80% cimento+ 20% casca)	26,70	0,10

*DPM - desvio-padrão médio.

Fonte: Milani e Freire (2006). *Adaptada.*

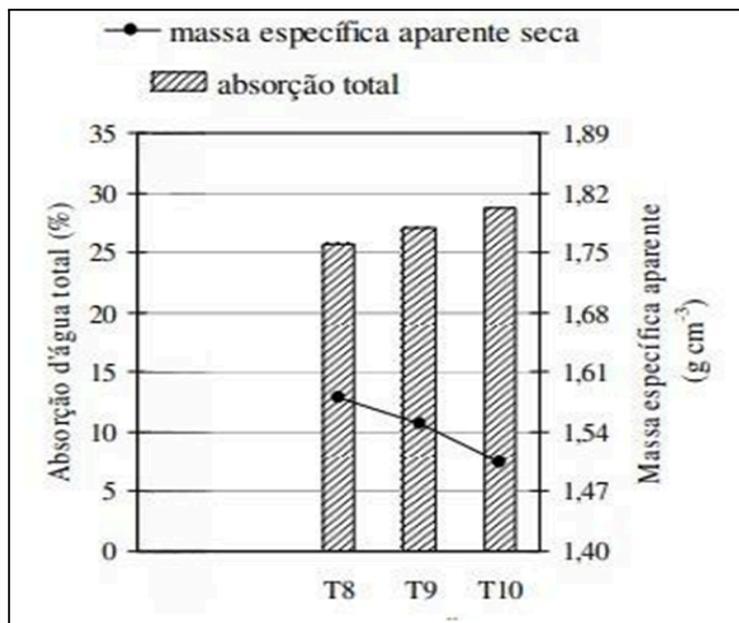
Figura 2 — Valores de resistência à compressão simples e de massa específica aparente seca máxima dos CPs de solo-cimento-casca

Fonte: Milani e Freire (2006).

Figura 3 — Valores de resistência à compressão simples e de massa específica aparente seca dos CPs de solo-cimento-casca

Fonte: Milani e Freire (2006).

Figura 4 — Capacidade de absorção d'água total e valores de massa específica aparente seca dos CPs de solo-cimento-casca.



Fonte: Milani e Freire (2006).

Através do Quadro 7 é possível perceber como se estabelece o processo de resistência à compressão simples no material durante sua evolução, dos 7 aos 28 dias.

Quadro 7 — Resistência à compressão simples (MPa), aos 7 e aos 28 dias, dos CPs de solo-cimento-casca.

Resistência à compressão simples (MPa), aos 7 e aos 28 dias, dos CPs de solo-cimento-casca		
Identificação	Compressão Simples	
	7 dias	28 dias
T7	0,23 ±0,01 (1,87) d B	1,62 ±0,01 (1,72) ef A
T8	1,37 ±0,03 (2,28) c B	1,94 ±0,26 (13,3) de A
T9	1,36 ±0,05 (3,46) c B	1,64 ±0,03 (1,72) ef A
T10	1,14 ±0,03 (3,06) c A	1,40 ±0,02 (1,48) f A

*Valores médios ± desvio-padrão (coeficiente de variação).
Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Fonte: Milani e Freire (2006). Adaptada.

Com base nas Figuras 2 e 3, observa-se que o aumento da fração de casca de arroz resulta em uma redução da massa específica aparente seca e da

resistência à compressão. Concomitantemente, os valores de absorção de água tendem a aumentar com o acréscimo de casca de arroz na mistura. Em relação à compressão simples, nenhum dos tratamentos apresentou potencial para atender aos requisitos estabelecidos pela norma NBR 8492 (ABNT, 1992d), que exige um valor médio mínimo de 2,0 MPa aos 7 dias de idade, sem valores inferiores a 1,7 MPa. Quanto à capacidade de absorção de água, nenhum tratamento demonstrou conformidade com os critérios da NBR 8492 (ABNT, 1992d), que estipula um valor médio máximo de 20%, sem ultrapassar 22%.

Ferreira, Gobo e Cunha (2008) utilizaram um solo com as seguintes características:

Quadro 8 — Caracterização física do solo.

Caracterização física do solo						
Granulometria			Índices Físicos			
Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	y_s (gcm ⁻³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
55,68	21,21	22,97	2,72	21,10	16,30	4,80

Fonte: Ferreira, Gobo e Cunha (2008). *Adaptada.*

No Quadro 9, é possível verificar que para as composições de solo-cimento-casca a massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{máx}$, em gcm⁻³) ‘diminuiu, enquanto a umidade ótima (U_{ot} , em %) aumentou, esses resultados se dão pelo fato de a presença da casca de arroz ocasionar o aumento do volume de poros da mistura.

Quadro 9 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$, em gcm^{-3}) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-resíduo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal.

Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$, em gcm^{-3}) e umidade ótima de compactação (U_{ot}, em %) das composições solo-cimento-resíduo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal.			
Identificação	Composição	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (gcm^{-3})	U_{ot} (%)
T1	10% (100% cimento + 0% casca)	1,82	16,72
T2	10% (90% cimento + 10% casca)	1,77	17,72
T3	10% (80% cimento + 20% casca)	1,73	18,64
T4	10% (70% cimento + 30% casca)	1,73	18,25
T5	10% (60% cimento + 40% casca)	1,68	19,31

Fonte: Ferreira, Gobo e Cunha (2008). *Adaptada*.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão, bem como da absorção de água podem ser verificados no Quadro 10 e Figuras 5 e 6. Nota-se que a resistência à compressão simples reduziu a medida em que a casca de arroz foi adicionada. O tratamento que obteve o melhor desempenho foi o T2, o qual apresentava casca de arroz num teor de 10%. Houve ganho de resistência com o aumento do tempo de cura. Os valores de absorção de água foram elevados, no entanto, todos os valores permaneceram abaixo do limite de 20%.

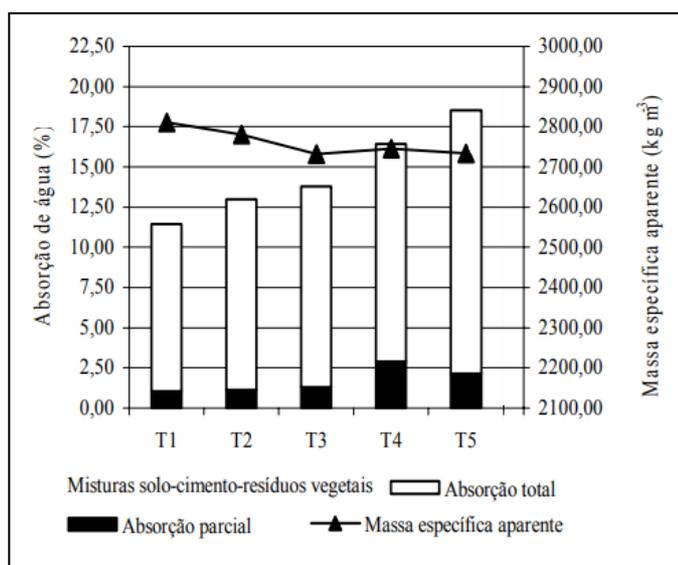
Quadro 10 — Resistência à compressão simples (MPa) e capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-casca.

Resistência à compressão simples (MPa) e capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-casca.			
Tratamentos	Compressão Simples (MPa)		Absorção Total de Água (%)
	7 Dias	28 Dias	7 Dias
T1	3,00 ± 0,27 (9,08) aC1	3,07 ± 0,05 (1,68) aC	11,42 ± 3,41 (29,90) a
T2	1,82 ± 0,09 (4,91) bC	2,25 ± 0,05 (2,30) bB	12,97 ± 3,06 (23,59) ab
T3	1,34 ± 0,05 (3,86) cC	1,52 ± 0,04 (2,57) cBC	13,78 ± 3,75 (27,20) ab
T4	1,07 ± 0,07 (6,28) cdC	1,21 ± 0,04 (3,21) cdBC	16,42 ± 5,79 (35,27) ab
T5	0,98 ± 0,02 (1,99) dB	1,03 ± 0,00 (0,00) dB	18,51 ± 4,97 (26,88) ab

Valores médios + desvio-padrão (coeficiente de variação, em %). Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade. Em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem

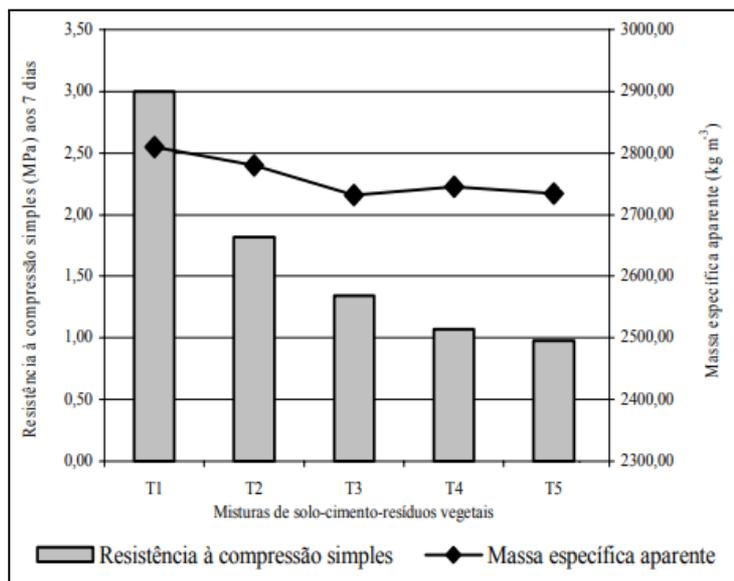
Fonte: Ferreira, Gobo e Cunha (2008). *Adaptada.*

Figura 5 — Absorção de água (%) e massa específica aparente (kgm^{-3}) dos tijolos de solo-cimento-casca.



Fonte: Ferreira, Gobo e Cunha (2008). *Adaptada.*

Figura 6 — Resistência à compressão simples (MPa) e massa específica aparente (kg.m-3) dos tijolos de solo-cimento-resíduos vegetais aos 7 dias



Fonte: Ferreira, Gobo e Cunha (2008). *Adaptada.*

Os tratamentos do estudo de Ferreira, Gobo e Cunha (2008), embora tenham apresentado valores elevados para absorção de água, se mantiveram dentro dos limites normativos. Com relação à resistência a compressão simples, apenas o T2, que continha adição de 10% de casca de arroz, apresentou valor acima de 1,5 MPa, exigido em norma.

5.3 ADIÇÃO CINZA DO BAGAÇO DE CANA

Giordano (2016) utilizou um solo com a seguinte granulometria:

Quadro 11 — Caracterização do solo

Caracterização física do solo		
Granulometria		
Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
47,33	11,17	41,50

Fonte: Giordano (2016). *Adaptada.*

Os ensaios de absorção de água dos corpos de prova em questão apresentaram resultados condizentes a valores mínimos de absorção de água de

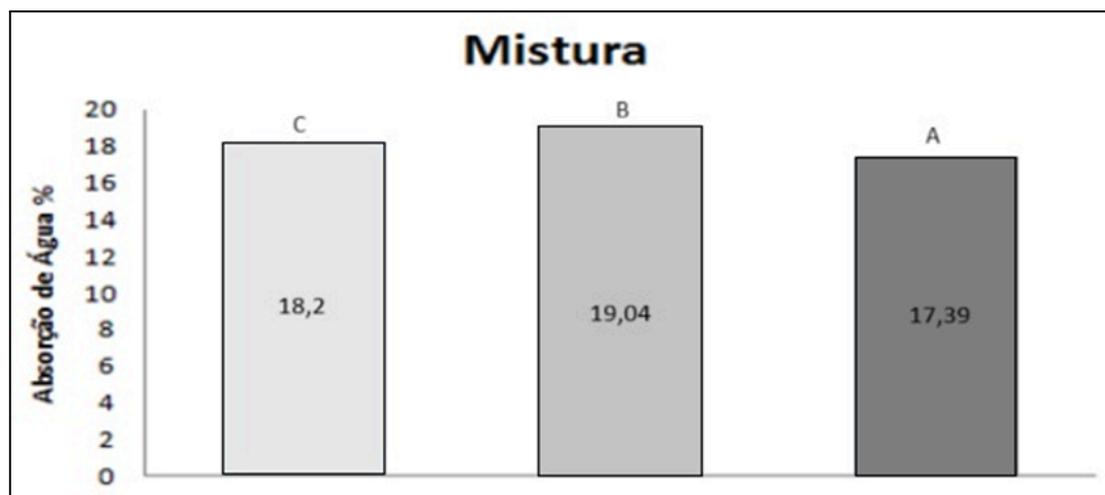
acordo com a ABNT NBR 10.836, que assim deve apresentar a média dos valores de absorção de água igual ou menor que 20 % e valores individuais iguais ou menores que 22%. (Quadro 12 e Figura 7). Nota-se que os traços B e C, tenderam a absorver mais água pelo aumento da porosidade causado pela incorporação das cinzas do bagaço de cana.

Quadro 12 — Capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-CBC

Capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-CBC			
Identificação	Composição	Absorção de água (%)	Compressão Simples (MPa)
A	100% solo + 0% CBC	17,39	1,88
B	70% solo + 30% CBC	19,04	1,30
C	60% solo + 40% CBC	18,20	1,27

Fonte: Giordano (2016). *Adaptada.*

Figura 7 — Absorção de água (%) dos tijolos de solo-cimento-CBC

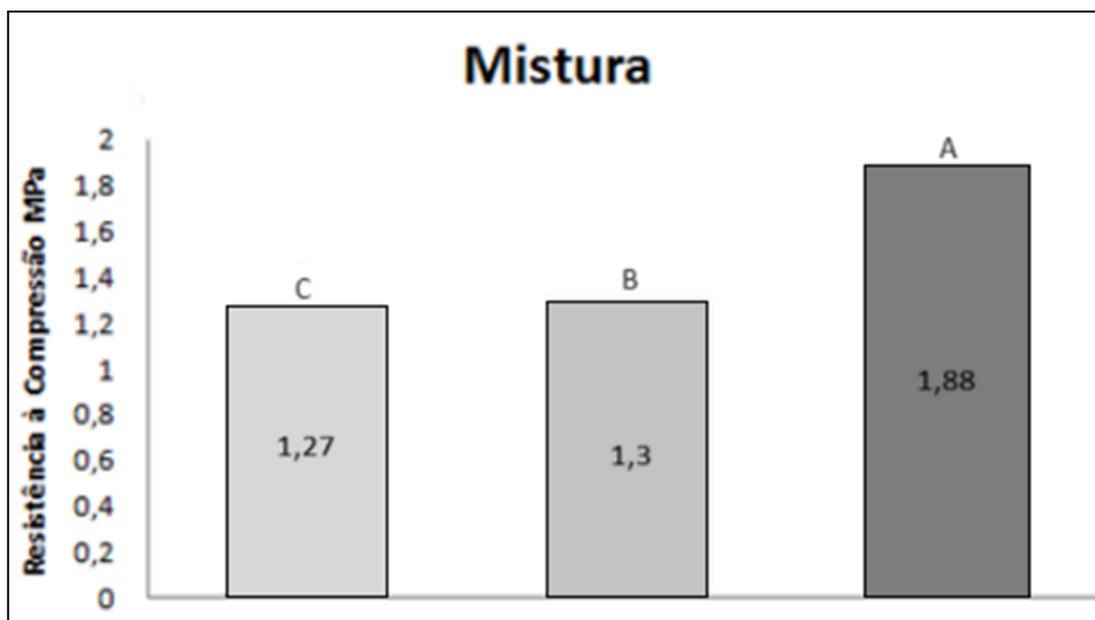


Fonte: Giordano (2016).

Com relação a resistência à compressão, os tratamentos não alcançaram a resistência mínima de 2 MPa, de acordo com a NBR 10836 (Quadro 12 e Figura 8), fato esse que teve relação com a granulometria da cinza utilizada, a qual foi apenas peneirada com uma peneira de 4,8 mm, resultando em partículas muito grandes,

que dificultaram a reatividade. Isso demonstra a necessidade de melhorar o pré-tratamento, como a moagem do material, para aumentar a sua finura e, a sua reatividade.

Figura 8 — Absorção de água (%) dos tijolos de solo-cimento-CBC



Fonte: Giordano (2016).

Valenciano e Freire (2003) utilizaram um solo com as seguintes características:

Quadro 13 — Caracterização física do solo

Caracterização física do solo						
Granulometria			Índices Físicos			
Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	y_s (gcm ⁻³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
45,77	14,25	35,18	2,88	47,4	31,87	15,53

Fonte: Valenciano e Freire (2003). Adaptada.

A substituição parcial do cimento Portland por 20% de cinzas na mistura não provocou qualquer modificação significativa nos valores da massa específica aparente seca máxima de ambos os solos, tratados ou não com cimento (Quadro 14).

Quadro 14 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{\text{máx}}$, em gcm⁻³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-CBC

Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{\text{máx}}$, em gcm ⁻³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-CBC			
Identificação	Composição	$\gamma_{\text{máx}}$ (gcm ⁻³)	U_{ot} (%)
T1	100% solo	1,56	27,80
T2	100% solo + 3% cimento	1,58	27,16
T3	100% solo + 3% (80% cimento + 20% cinzas)	1,57	27,56

Fonte: Valenciano e Freire (2003). *Adaptada.*

Pelo Quadro 15, verifica-se que tanto a incorporação de 3% de cimento Portland quanto a sua substituição parcial por 20% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar aumentou os valores da resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de solo-cimento-cinzas. No mesmo quadro, é possível verificar os resultados de absorção de água. Não foi possível realizar o ensaio para o tratamento do solo natural (T1), pois este se desmanchava tão logo era imerso na água. Pelos valores de absorção T2 e T3, percebe-se que são iguais entre si. Para o tratamento T3, o único que apresentou teor de CBC, os valores de resistência à compressão e de absorção de água atenderam às exigências normativas.

Quadro 15 — Resistência à compressão simples (MPa) e capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-CBC

Resistência à compressão simples (MPa) e capacidade de absorção total de água (%) dos tijolos moldados para as misturas de solo-cimento-CBC			
Tratamentos	Compressão Simples (MPa)		Absorção Total de Água (%)
	28 Dias	60 Dias	7 Dias
T1	1,46 ± 0,04	1,63 ± 0,08	-
T2	1,79 ± 0,10	1,97 ± 0,11	15,40 ± 0,40
T3	1,85 ± 0,10	1,99 ± 0,05	15,72 ± 0,35

Fonte: Valenciano e Freire (2003). *Adaptada.*

5.4 ADIÇÃO CINZA DO BAGAÇO DE CANA

Pinheiro *et al.* (2013) utilizou um solo com as seguintes características:

Quadro 16 — Caracterização física do solo

Caracterização física do solo						
Granulometria			Índices Físicos			
Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	y_s (gcm ⁻³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
75,51	14,29	10,2	2,75	32,00	17,00	15,00

Fonte: Pinheiro *et al.* (2013). *Adaptada.*

O estudo utilizou um traço base de cimento:solo de 1:10, e variou os teores de GRITS em cima da massa do solo, usando-se das variações em porcentagem solo-GRITS 100-0, 75-25, 50-50. Analisando os resultados dos ensaios de compactação apresentados no quadro 17, percebe-se que o aumento do teor de GRITS conduz a uma redução da umidade ótima e a um aumento do peso específico seco máximo.

Quadro 17 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$, em gcm⁻³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-cimento-CBC

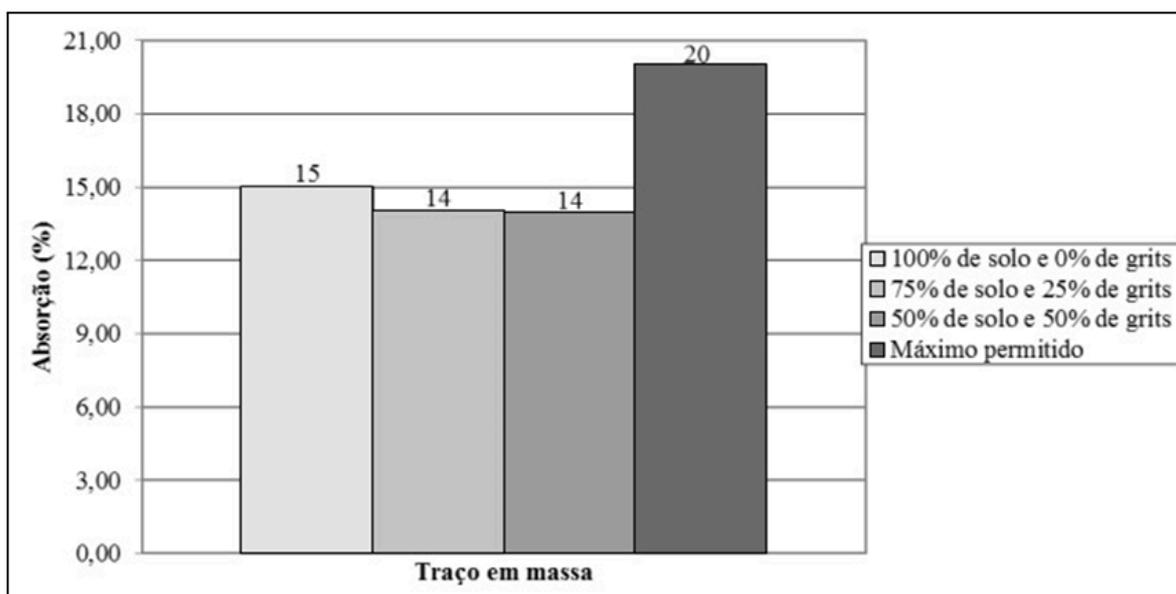
Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$, em KN/cm ³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-resíduo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal.			
Identificação	Composição	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (KN/cm ³)	U_{ot} (%)
A	100% solo + 0% GRITS	18,92	13,90
B	75% solo + 25% GRITS	19,48	12,93
C	50% solo + 50% GRITS	20,05	12,30
D	25% solo + 75% GRITS	19,88	13,00
E	0% solo + 100% GRITS	20,20	11,90

Fonte: Pinheiro *et al.* (2013). *Adaptada.*

Pela Figura 9 e 10 é possível visualizar que a resistência à compressão se manteve estável e veio a decair ligeiramente com o aumento do teor de GRITS. Já a absorção de água, se manteve constante com as variações testadas. Quanto à

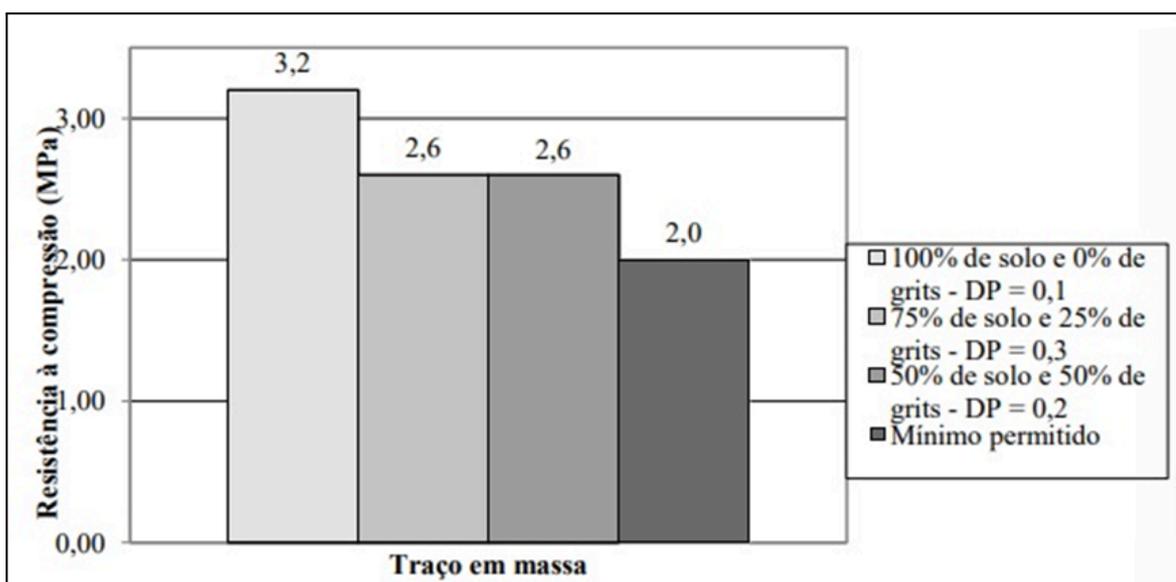
resistência à compressão e absorção de água, pode-se concluir que todos os teores de solo-GRITS, em massa, correspondentes às porcentagens 100-0, 75-25 e 50-50, atendem às exigências da NBR 10836 (ABNT, 1994b).

Figura 9 — Absorção de água média dos CPs de solo-cimento-GRITS, aos 28 dias, e comparação com o limite permitido da NBR 10836 (ABNT, 1994b)



Fonte: Pinheiro *et al.* (2013).

Figura 10 — Resistência à compressão média dos CPs de solo-cimento-GRITS e o desvio padrão (DP), aos 13 dias, e comparação com o limite permitido da NBR 10836 (ABNT, 1994b)



Fonte: Pinheiro *et al.* (2013).

Com o intuito de se aproximar do maior valor de adição de GRITS que ainda possuía plasticidade para ser moldado e retirado do molde, usou-se um traço de solo-GRITS de 37,5-62,5%, o qual apresentou, aos 28 dias, para resistência à compressão o valor de 2,5 MPa e para absorção de água, o valor de 14%, ficando dentro dos limites normativos da NBR 10836 (ABNT, 1994b).

Miranda et al. (2011) utilizou um solo com as seguintes características:

Quadro 18 — Caracterização física do solo

Caracterização física do solo						
Granulometria			Índices Físicos			
Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	γ_s (gcm ⁻³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)
70,54	29,45	-	1,90	33,00	16,00	17,00

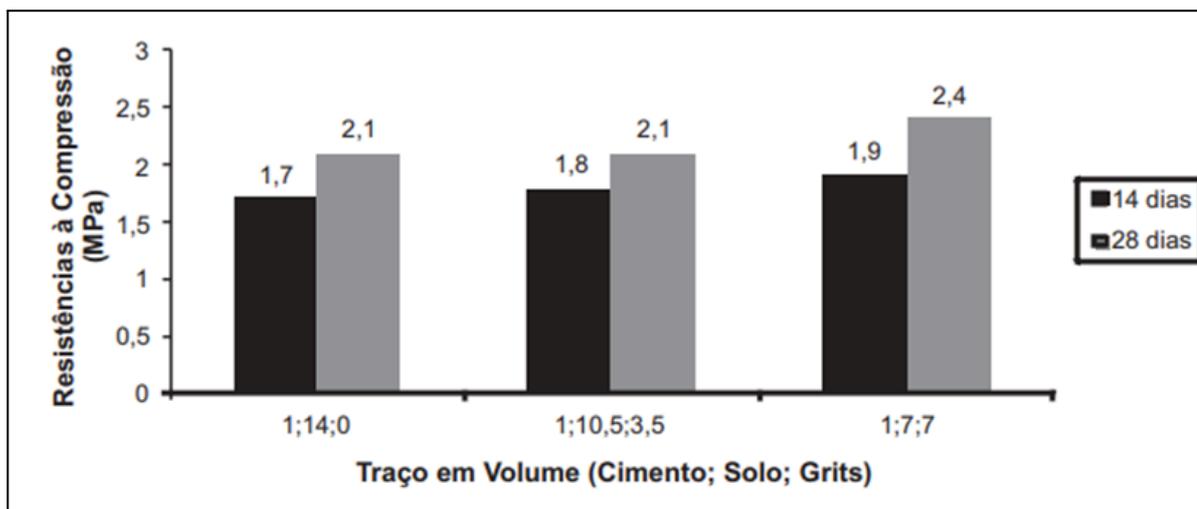
Fonte: Miranda et al. (2011). Adaptada.

Quadro 19 — Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$, em KN/cm³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-resíduo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal

Massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{m\acute{a}x}$, em KN/cm ³) e umidade ótima de compactação (U_{ot} , em %) das composições solo-resíduo, obtidas pelo ensaio de compactação de Proctor normal			
Identificação	Composição	$\gamma_{m\acute{a}x}$ (KN/cm ³)	U_{ot} (%)
A	100% solo + 0% GRITS	19,04	12,30
B	75% solo + 25% GRITS	18,92	12,09
C	50% solo + 50% GRITS	18,66	13,39
D	25% solo + 75% GRITS	18,25	13,47
E	0% solo + 100% GRITS	17,53	13,62

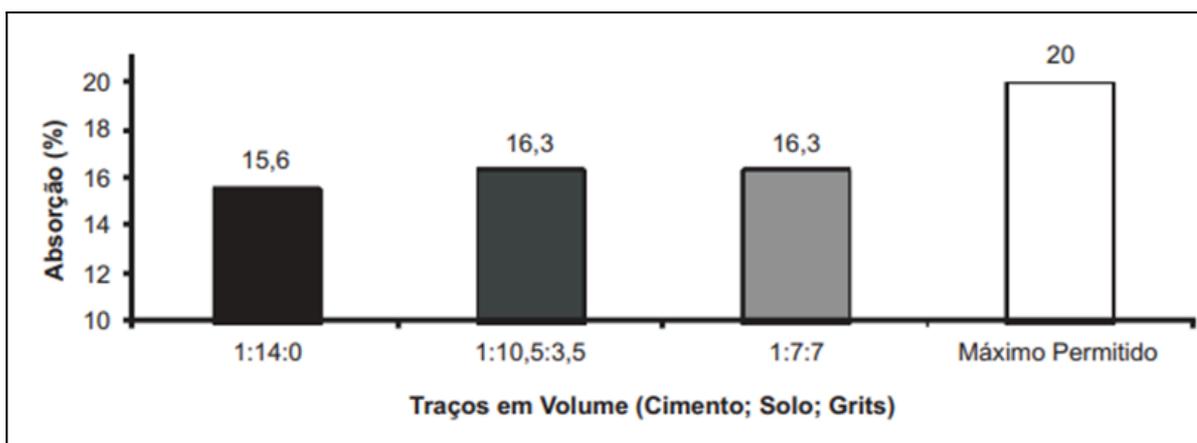
Fonte: Miranda et al. (2011). Adaptada.

Figura 11 — Valores de resistência à compressão aos 14 e 28 dias de CPs de solo-GRITS e comparação com os limites permitidos pela NBR 8491



Fonte: Miranda *et al.* (2011).

Figura 12 — Valor de absorção de água de CPs de solo-GRITS e comparação com os limites permitidos pela NBR 8491



Fonte: Miranda *et al.* (2011).

Após a análise dos resultados dos ensaios apresentados na Figura 11, observou-se que todos os traços demonstraram atingir o requisito mínimo de 2,0 MPa para resistência à compressão simples aos 28 dias, conforme estabelecido na NBR 8491 (ABNT, 1984). Além disso, os resultados de absorção se mantiveram

abaixo do valor médio máximo especificado na norma (20%), sem que qualquer valor individual ultrapassasse o limite máximo estipulado (22%). Nota-se que o traço 1:7:7 (50-50) de cimento, solo e GRITS obteve o melhor desempenho em termos de resistência à compressão quando comparado aos demais.

5.5 QUADRO RESUMO

Quadro 20 — Resumo dos resultados obtidos nos diversos experimentos de solo-cimento-resíduo apresentados

Resumo dos resultados obtidos nos diversos experimentos de solo-cimento-resíduo apresentados				
Autores	Aditivo	Resistência à compressão	Absorção de água	NBR 8491
Regalin Júnior e Nienov (2022)	Casca de Ovo	Aumentou	-	-
Milani e Freire (2006)	Casca de Arroz	Diminuiu. Nenhum atendeu à norma	Aumentou. Nenhum atendeu à norma	Não atendeu
Ferreira, Gobo e Cunha (2008)	Casca de Arroz	Diminuiu. Apenas o T2 [10% (90% cimento + 10% casca)]. Atendeu a norma.	Aumentou. Todos atenderam à norma	O T2 atendeu
Giordano (2016)	CBC	Diminuiu. Nenhum atendeu à norma	Diminuiu. Todos atenderam à norma	Não atendeu
Valenciano e Freire (2003)	CBC	Aumentou	Constante	O T3 [100% solo + 3% (80% cimento + 20% cinzas)] atendeu
Pinheiro <i>et al.</i> (2013)	GRITS	Diminuiu. Todos atenderam à norma	Constante	Todos atenderam
Miranda <i>et al.</i> (2011)	GRITS	Constante	Constante	Todos atenderam
<p>Para tijolos ou blocos não-normalizados pela NBR 8491, como é o caso de materiais incorporados por resíduos orgânicos, a norma estabelece, para os 7 dias de idade, que a resistência à compressão atinja o valor mínimo de 1,5 MPa e que a capacidade de absorção de água máxima seja de 20%.</p>				

Fonte: Feito pelas autoras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo oferecendo um bom potencial de utilização no tijolo de solo-cimento, a incorporação dos resíduos orgânicos na dosagem desse material ainda é pouco utilizada. De maneira geral, utilizar conjuntamente os resíduos vegetais e matrizes cimentantes ajuda na viabilização de um menor impacto ambiental pela construção civil, como também acarreta menores custos de produção pela substituição parcial do cimento.

Dentre as adições abordadas neste trabalho, destaca-se o GRITS como sendo o que proporcionou melhores resultados em termos de resistência à compressão e absorção de água, tendo todas as composições apresentadas em conformidade com as exigências normativas, sendo assim, o que mais contribuiu para o objetivo de servir como material alternativo para a construção civil.

Por outro lado, a casca de arroz não atingiu as expectativas para valores de resistência e absorção. O produto da sua incorporação foi um material bastante poroso cuja resistência diminuiu à medida que se elevava o teor de casca. Seguindo por esse mesmo caminho, têm-se os tratamentos com as cinzas do bagaço de cana, que manteve a absorção de água em valores constantes, no entanto teve a sua resistência prejudicada.

A casca de ovo resultou em um ganho de resistência proporcional ao aumento da sua adição, no entanto, faltam informações acerca dos valores de absorção de água para indicar seu uso com base nas exigências normativas.

Vale ressaltar, para todos os casos, a importância de se fazer um bom preparo dessas adições para poder incorporá-los ao solo-cimento. Atentar-se para eliminar a presença de impurezas e investir no aumento da superfície específica dos resíduos, pela moagem, para aprimorar o seu potencial de homogeneização e reatividade. De modo geral, o impacto do uso de resíduos orgânicos no tijolo de solo-cimento ainda precisa ser mais desbravado para assegurar sua correta utilização enquanto material de construção alternativo.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 07215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

ABNT. **NBR 10834**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, out. 1994.

ABNT. **NBR 10836**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural -determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, out. 1994.

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2022**.

AKASAKI, J.L.; SILVA, A.P. Estudo de composições do solo estabilizado com cal e resíduos agroindustriais. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 30., 2001, Foz do Iguaçu. Anais.. Foz do Iguaçu: SBEA, 2001. 1 Cd-Rom.

ALMEIDA, Eva Clícia de Jesus *et al.* Características físicas de ovos de galinhas nativas comparadas a linhagem de postura. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 261, p. 82-87, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984)(1986)(2016) ABNT **NBR 7182** : SOLO – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984)(2016) ABNT **NBR 6459**: SOLO – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984)(2016) ABNT **NBR 7180**: SOLO – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1984)(2018) ABNT **NBR 7181**: SOLO – Análise granulométrica. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 07215**: Cimento Portland: determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11580**: Cimento Portland: determinação da água da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 1991. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023**: Solo-cimento: ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: Solo-cimento: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: Solo-cimento: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: tijolo maciço de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984 e 1992.

BERALDO, A.L.; TOJAL, J.H.V. Termorregulação de equinos em uma cocheira feita com blocos vazados de argamassa de cimento, areia e casca de arroz. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.13, n.1, p.21-30, 2002.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Reportagem especial: construção civil é campeã em poluição ambiental no Brasil. **TV Câmara**, 4 jun. 2010. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/tv/202934-reportagem-especial-construcao-civil-e-campea-em-poluicao-ambiental-no-brasil/>. Acesso em: 8 jan 2023.

CASTRO, Sidclei Ferreira. **Incorporação de resíduos de caulim em solo-cimento para construções civis**. 119f. 2008. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2008. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2605>

CORDEIRO, E. R., NOGUEIRA R. E. F. Q., NOGUEIRA NETO, J. A., ARAÚJO, F. S. M. Moldagem por injeção de pó residual proveniente da extração do granito Branco Savana. In: **XVI Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais CBECIMAT**, Porto Alegre, RS, 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME 093 - **Solos** -determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994.

FARIA, K. C. P.; GURGEL, R. F.; HOLANDA, J. N. F. *Recycling of sugarcane bagasse ash waste in the production of clay bricks*. **Journal of Environmental Management**, v. 101, p. 7-12, 2012.

Ferreira, Débora; Luso, Eduarda; Cruz, Maria (2018). Blocos ecológicos de solo-cimento com incorporação de resíduos. In **REHABEND 2018 - CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND HERITAGE MANAGEMENT**. Cáceres, Espanha. ISBN 978-84-697-7033-7.

FERREIRA, R. DE C.; GOBO, J. C. DA C.; CUNHA, A. H. N.. Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 1, p. 1–11, jan. 2008.

GIORDANO, Elton Bruno. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com adição de cinza de bagaço de cana**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2016.

GRANDE, F. M. **Fabricação de Tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem a adição de sílica ativa**. Dissertação (mestrado). Eesc – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

KAZMI, S. M. S. *et al.* Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. **Construction and Building Materials**, v. 120, p. 29–41, 2016.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2010. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/2835>>.

LOPES, W. G. R. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas-SP, 2002.

MACHADO, C. C.; PEREIRA, R. S.; PIRES, J. M. M. **Influência do Tratamento Térmico do Resíduo Sólido Industrial (grits) na Resistência Mecânica de Um Latossolo Para Pavimentos de Estradas Florestais**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 543-550, jul./ago. 2003.

MANUAL DE CONSTRUÇÃO COM SOLO-CIMENTO -

https://redeterrabrasil.net.br/wp-content/uploads/2021/09/1_Manual-de-solo-cimento_2020.pdf

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J.. Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 1, p. 1–10, jan. 2006.

MIRANDA, L. DE A. *et al.* Avaliação do potencial do grits como material de construção na produção de tijolos de solo-cimento. **Revista Árvore**, v. 35, n. 6, p. 1335–1340, nov. 2011.

Nair, D. G., Fraaij, A., Klaassen, A. A. K., and Kentgens, A. P. M. (2008). “**A structural investigation relating to the pozzolanic activity of ricehusk ashes**”. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884607002797?via%3Dihub>>

NBR 10832: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com utilização de prensa manual. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

NBR 12025: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

NBR 5732: cimento Portland comum. 2 ed. Rio de Janeiro, 1991.

NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 5735: cimento Portland de alto forno: especificação. Rio de Janeiro, 1991.

NBR 5736: 1991 – Cimento Portland pozolânico. 1. ed. 5 p. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

NBR 8491: tijolo maciço de solo-cimento: especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1984.

NBR-10832: Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

NEVES, M. A., 1998. **Alternativas para valorização da casca de ovo como complemento alimentar e em implantes ósseos**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos. Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.

OLIVEIRA, D. A.; BENELLI, P.; AMANTE, E. R. **Valorização de resíduos sólidos: casca de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos**. In: 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo. Brasil. 2009.

OLIVEIRA, M. P. *et al.* Estudo do caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento Portland. In: **Conferência Brasileira De Materiais E Tecnologias Não Convencionais: Habitações E Infra-Estrutura De Interesse Social Brasil**, Pirassununga, 2004. Anais [...] São Paulo, 2004.

PEREIRA, R. S. **Viabilidade técnica do emprego de resíduos da indústria de celulose para construção de estradas florestais**. 2005. 330f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

PEREIRA, R. S.; MACHADO, C. C.; CARVALHO, C. A. B. **Aplicação de Misturas Solo-Grits em Estradas Florestais: resistência mecânica via CBR**. Revista *Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 619-627, jul.ago. 2006.

PINHEIRO, M. L. *et al.* Avaliação experimental de blocos prensados de solo-cimento com adição de grits. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 29–46, abr. 2013.

PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo. 2000.

PINTO, C. S. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento**. ABCP, São Paulo, 1980.

PIRES, I. B. A. **A Utilização do Tijolo Ecológico como Solução para Construção de Habitações Populares**. Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Salvador - UNIFACS, 2004.

REGALIN JÚNIOR, G.; NIENOV, F. A. **Incorporação de pó de casca de ovo de galinha em misturas de solo-cimento**. *Conhecimento em Construção*, [S. l.], v. 9, p. 221–242, 2022. DOI: 10.18593/cc.v9.30067. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/conheconstr/article/view/30067>. Acesso em: 9 abr. 2023.

SARTORI, Guilherme. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6672/1/CM_COECI_2015_2_13.pdf. Acesso em: 08 jun. 2021.

SILVEIRA, A. **Estabilização de solos com cimento - síntese de notas de aula.** EESC - USP. Publicação 128, p.1-44, 1966.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de São Paulo. Ilha Solteira. -SP, 2006.

TEIXEIRA, J. N. **Avaliação das propriedades físico-mecânicas de fibrocimentos produzidos a partir de materiais lignocelulósicos.** 2017. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

VALENCIANO, M. C. M.; FREIRE, W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.** Engenharia Agrícola, v. 24, n. 3, p. 484-492, 2004.

VESSOZI, Clarissa Saldanha. **Estudo da viabilidade de fabricação de tijolos de solo-cimento com a adição de cinza de casca de arroz.** 60p. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete, Alegrete, 2016<<https://dspace.unipampa.edu.br>>.