

**UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JOEL NETO BISPO DE SALES  
NATÁLIA CRISTINA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO TIJOLO DE  
SOLO-CIMENTO PRODUZIDO COM INCREMENTO DA CINZA DO BAGAÇO  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**PUBLICAÇÃO Nº: XXXXXX**

**CERES / GO**

**2019**

**JOEL NETO BISPO DE SALES  
NATÁLIA CRISTINA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO TIJOLO DE  
SOLO-CIMENTO PRODUZIDO COM INCREMENTO DA CINZA DO BAGAÇO  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**PUBLICAÇÃO Nº: XXXXX**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

**ORIENTADOR: VITOR MAGALINI ZAGO DE SOUSA  
CO-ORIENTADOR: VILSON DALLA LIBERA JUNIOR**

**CERES / GO: 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SALES, JOEL NETO BISPO DE; NASCIMENTO, NATALIA CRISTINA DO.

Análise das propriedades físicas e mecânicas do tijolo de solo-cimento produzido com incremento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, Goiás, 2019, 25P, 297 mm (ENC/UEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2019). TCC – Unievangélica. Curso de Engenharia Civil.

1. Tijolo solo cimento

2. Cana-de-açúcar

3. Resíduo

4. Solos

I. ENC/UNI

II. Bacharel em Engenharia Civil

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SALES, J. N. B.; NASCIMENTO, N. C. (2019). Análise das propriedades físicas e mecânicas do tijolo de solo-cimento produzido com incremento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Engenharia Civil - Unievangélica, Ceres, GO, 18 P, 2019.

## CESSÃO DE DIREITOS

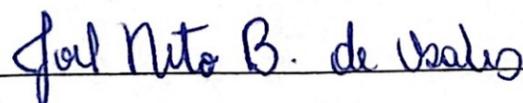
NOME DO AUTOR: Joel Neto Bispo de Sales e Natalia Cristina do Nascimento

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise das propriedades físicas e mecânicas do tijolo de solo-cimento produzido com incremento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2019

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

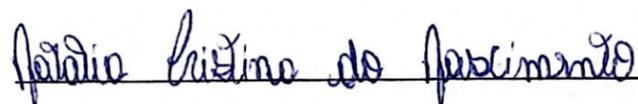


Joel Neto Bispo de Sales

Rua F QD 06 LT 61 Santa Terezinha

76310-000 - Rialma/GO - Brasil

E-mail: netojoelaizaqui@hotmail.com



Natalia Cristina do Nascimento

Rua 36 N° 477 Nova Vila

76300-000 - Ceres/GO - Brasil

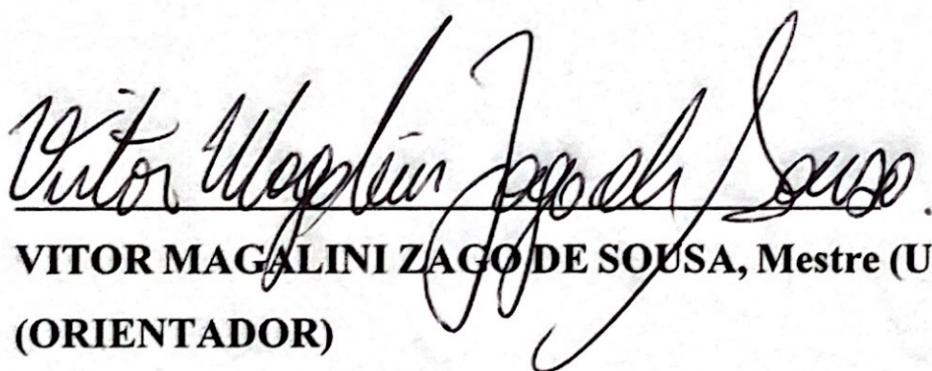
E-mail: ncn.nataliacristina@gmail.com

**JOEL NETO BISPO DE SALES  
NATÁLIA CRISTINA DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO TIJOLO DE  
SOLO-CIMENTO PRODUZIDO COM INCREMENTO DA CINZA DO BAGAÇO  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**



**VITOR MAGALINI ZAGO DE SOUSA, Mestre (UniEVANGÉLICA – Campus Ceres)  
(ORIENTADOR)**



**RODRIGO NASCIMENTO PORTILHO DE FARIA, Mestre (UniEVANGÉLICA –  
Campus Ceres)**

**(EXAMINADOR INTERNO)**



**VILSON DALLA LIBERA JUNIOR, Mestre (UniEVANGÉLICA – Campus Ceres)**

**(EXAMINADOR INTERNO)**

**CERES/GO, 09 DE DEZEMBRO DE 2019.**

# ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO PRODUZIDO COM INCREMENTO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Joel Neto Bispo de Sales <sup>1</sup>  
Natália Cristina do Nascimento<sup>2</sup>  
Wilson Dalla Libera Junior<sup>3</sup>  
Vitor Magalini Zago de Sousa<sup>4</sup>

## RESUMO

As indústrias sucroalcooleiras além de gerar produtos importantes como o álcool e o açúcar, produzem subprodutos como o resíduo do bagaço de cana de açúcar. Resultado da queima, esse rejeito possui um alto teor de pozolana, podendo substituir parte do cimento nos tijolos solo-cimento. Visando questões de sustentabilidade, reutilização de resíduos industriais e diminuição do déficit habitacional, o presente estudo propõe a análise do desempenho do tijolo de solo-cimento com adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), visando sua aplicação no setor construção civil, obtendo um produto de bom desempenho e menor custo. Para isso, a metodologia se dedica em testes no solo colhido na cidade de Rialma, região centro oeste de Goiás e no tijolo solo-cimento moldado de acordo com as recomendações do Boletim Técnico - Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais, afim de determinar a capacidade mecânica e a absorção de água. Após análise dos materiais, foi realizado a confecção de corpos de prova (CP) com diferentes teores de CBC em substituição ao cimento e em seguida caracterizados em termos de resistência à compressão simples e absorção de água. Os resultados foram avaliados a fim de verificar a viabilidade da incorporação do resíduo nos tijolos em maior quantidade possível, obedecendo às exigências impostas pelas normas regulamentadoras. Foi concluído que a incorporação do CBC, em quantidades adequadas, é viável na produção de tijolos de solo-cimento, reduzindo o custo da produção, além de diminuir os impactos ambientais com o destino correto do resíduo.

**Palavras-chave:** Tijolo. Solo-cimento. Cinza. Bagaço de cana-de-açúcar.

---

<sup>1</sup> Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: netojoel\_engcivil@hotmail.com

<sup>2</sup> Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: ncn.nataliacristina@gmail.com

<sup>3</sup> Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia, professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: wilson-dalla@hotmail.com

<sup>4</sup> Mestre em Integridade de Materiais da Engenharia, professor do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: vitormagalinizago@gmail.com

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Análise do solo.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Moldagem dos corpos de prova.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Ensaio de absorção de água .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Ensaio de resistência à compressão.....</b>	<b>8</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Caracterização física do solo e distribuição do tamanho das partículas.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Resistência mecânica .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Absorção de água.....</b>	<b>12</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>15</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado e desordenado das cidades, tem provocado impactos negativos ambientais e sociais. A importância de buscar meios sustentáveis se tornou indiscutível, pois os recursos do planeta são finitos e o crescimento da população e de suas atividades têm gerado há séculos grandes violências contra o meio ambiente (PISANI, 2005). A construção civil tem grande importância no desenvolvimento populacional e influência diretamente no ambiente inserido. Atualmente o setor é responsável pelo consumo de boa parte dos recursos naturais, no qual em consequência, gera muitos resíduos sólidos (SILVA, SANTOS, SAVARIS, 2018).

No contexto de consumo dos recursos naturais, o setor cerâmico, tem um grande destaque, devido a emissão de gases oriundos da queima, a degradação ambiental em busca da matéria prima utilizada nas olarias, e o consumo de lenha para o processo de cura dos tijolos. O tijolo solo-cimento, além de dispensar a etapa de queima, retira a necessidade do uso do óleo combustível ou madeira, sendo considerado assim como um tijolo ecológico. Essa característica do tijolo solo-cimento resulta em uma menor emissão de gases causadores do efeito estufa e evita o desmatamento (AMARAL, 2014). Composto por solo, cimento e água, o tijolo solo-cimento conhecido por ser um material ecológico, tem avançado no mercado da construção civil por sua característica de fácil produção. Trabalhar com os tijolos de solo-cimento traz agilidade e economia para a obra, por ser um bloco de encaixe e consumir pouca massa no assentamento, eles podem ser produzidos para serem usados à vista.

No Brasil, o solo-cimento começou a ser empregado como parte da confecção de base e sub-base de pavimentos de estradas. Posteriormente, com a produção dos tijolos solo-cimento, foi possível observar o baixo custo para a produção do mesmo e suas características próprias. Segundo Fiquerola (2004) estudos comprovaram o bom desempenho termoacústico e uma redução de custos de 20% a 40%, se comparado com a alvenaria convencional. Carneiro *et al.* (2001) ressaltam outra vantagem do tijolo de solo-cimento: a possibilidade de incorporar outros materiais na sua fabricação, como diversos resíduos (agregados de entulho reciclado, sílica ativa, cinzas volantes, escórias de alto forno). Dessa forma, vários rejeitos têm sido estudados com a finalidade de incorporação aos tijolos solo cimento. De acordo com Amaral (2014) a incorporação de resíduos sólidos poluentes em tijolo solo-cimento vem sendo alvo de muitas pesquisas, devido a abundante quantidade e características dos resíduos. O autor avalia positivamente a incorporação de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, a fim de oferecer mais uma opção de destino final para este resíduo, analisando também a viabilidade do uso deste novo material cimentício na fabricação de tijolo solo-cimento. Mais do que a questão ambiental, este material encontra-se em um contexto amplo, sendo um material apropriado para as mais diversas aplicações em construção civil.

Em Goiás o cultivo de cana-de-açúcar é de suma importância. Dados de 2018 do Sindicato da Indústria de Fabricação de Etanol do Estado de Goiás (SIFAEG) e Sindicato da Indústria de Açúcar do Estado de Goiás (SIFAÇUCAR) apontam o território goiano como o segundo maior produtor do Brasil, onde além da produção de etanol, açúcar e energia, também obtém subprodutos como de bagaço de cana, torta de filtro e vinhaça, ou seja, o resíduo gerado deve haver um gerenciamento correto, para não gerar problemas ao meio ambiente. Grande parte do bagaço é queimado em caldeiras para a geração de vapor, dispondo como resíduo, a cinza do bagaço. Amaral (2014) relata que o bagaço de cana-de-açúcar é uma biomassa de muita importância na geração de energia. No Brasil 95% dessas biomassas são queimadas em caldeiras, no qual na queima resulta em cinzas, produto rico em sílica, óxido de silício (SiO<sub>2</sub>), com teor acima de 60% em massa, proveniente da absorção do solo ou da areia da lavoura não retirada na lavagem.

Paralelamente o Estado enfrenta o problema do déficit habitacional, os resultados da pesquisa de 2018 do Instituto Mauro Borges de Estatística e Estudos Socioeconômicos (IMB), mostra que cerca de 156.159 famílias estão em condições de desprovisionamento, correspondendo a 429.759 pessoas. A adversidade não ocorre somente na região metropolitana. O adensamento populacional nas cidades do estado, devido fluxos migratórios faz pensar em alternativas construtivas que atendam a sociedades em aspectos econômicos.

Com a aplicação do cimento na composição do tijolo, deve-se levar em conta o alto consumo de energia para produção do cimento, mesmo que seja usado em pouca quantidade. Entretanto, uma das qualidades do tijolo solo-cimento é a possibilidade de incrementar resíduos no traço do tijolo. A queima do bagaço da cana-de-açúcar produz um resíduo com um alto teor de pozolana (material que em contato com água e cimento forma um composto aglomerante), podendo ser aplicado no tijolo solo-cimento, substituindo parte do cimento. Isso resulta em na redução dos impactos causados pelas cimenteiras e pela construção civil. Além disso, a substituição parcial do cimento por pozolana implica na economia de energia e na redução do custo de fabricação do cimento.

O setor da construção civil busca novos materiais e componentes que diminuam o gasto dos recursos naturais, pois o mesmo é esgotável. No qual, o tijolo solo-cimento com o incremento de rejeito é uma possibilidade para adquirir unidades habitacionais com baixo custo e de forma sustentável, diminuindo o depósito de resíduos no meio ambiente. O tijolo solo-cimento pode ser confeccionado no canteiro de obra e com o solo da região. O que pode resultar na diminuição de gastos com transporte matéria prima. O solo-cimento é utilizado na construção de diversas maneiras, podendo ser utilizado em edificações como, paredes monolíticas e tijolos ou blocos prensados, podendo ser aplicadas em muros, contenções, fundações, passeios, contrapisos e em lajes mistas.

Alinhado com a busca de alternativas simples que atendam aspectos ambientais e sociais, com baixos investimento, propõe-se utilizar o tijolo modular de solo-cimento com o incremento de resíduo de bagaço de cana-de-açúcar. Realizar uma análise a partir de combinações de cimento, cinzas e solo, a fim de identificar novos materiais para serem incorporados na fabricação de tijolos ecológicos e analisar a viabilidade através de teste que comprove o desempenho mecânico aceitável da utilização do tijolo solo-cimento com incremento de resíduo de bagaço de cana-de-açúcar. Tal procedimento, pode fomentar o uso desta tecnologia numa região rica em resíduos.

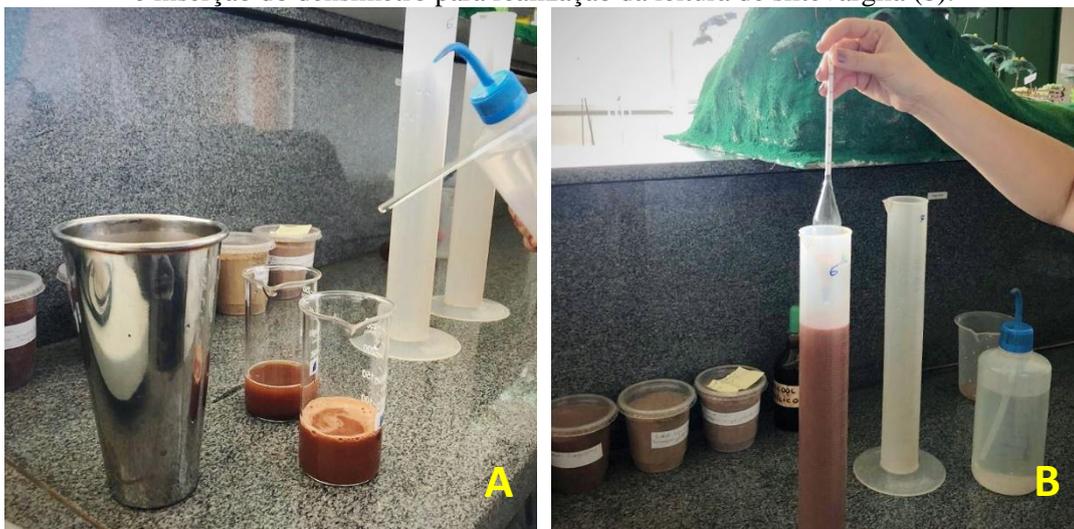
## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Foram utilizados como matéria prima para a fabricação dos tijolos de solo-cimento solo coletado em jazida na cidade de Rialma (Goiás, Brasil), cimento Portland CP II-E-32 e cinza residual da queima do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) fornecida pela CRV - Industrial LTDA, Unidade Carmo do Rio Verde, Goiás.

### **2.1 Análise do solo**

O solo foi coletado à 50 cm de profundidade, de modo que não houvesse matéria orgânica, em seguida transportado, e destorroado. As amostras coletadas foram preparadas seguindo-se as recomendações descritas na NBR 6457/1986. O solo coletado foi classificado como silte argiloso, de acordo com a textura, através do Triângulo Textural, utilizando os teores de areia, silte e argila, de acordo com o Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2007). A massa específica dos sólidos do solo foi determinada no Laboratório de Solos, do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres conforme apresentado nos procedimentos da Figura 1 e de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solos (EMBRAPA, 1997).

Figura 1 – Análise textural pelo método do densímetro: Adição de solução de NaOH ao material (a) e inserção do densímetro para realização da leitura de silte+argila (b).



Fonte: Próprio autor (2019)

A análise granulométrica dos sólidos foi realizada de acordo com a norma NBR 7181 (ABNT, 1984), passando nas peneiras de abertura (mm) de malha 4.75, 2.36, 2.00, 1.18, 0.60, 0.30, 0.15, 0.075. A determinação do índice de plasticidade e dos limites de consistência do solo foi realizada, utilizando cápsula de porcelana, água destilada e vidro de superfície esmerilhada, seguindo procedimentos descritos na NBR 7180 (ABNT, 1984). O limite de liquidez foi determinado utilizando cápsula de porcelana, cinzel, vidro relógio para não perder humidade, gabarito de verificação de altura e esfera de aço com 8 mm de diâmetro realizando procedimentos segundo a NBR 6459 (ABNT, 1984).

## 2.2 Moldagem dos corpos de prova

A mistura de solo-cimento de referência foi submetida a ensaio de compactação realizado conforme estabelece a norma NBR 12023 (ABNT, 1992), onde a relação água-cimento definida e utilizada em todos os traços foi de 16% (m/m). O traço utilizado foi definido em 1:11 de acordo com as recomendações do Boletim Técnico - Fabricação de Tijolos de Solo-Cimento com a Utilização de Prensas Manuais (ABCP, 2000). A incorporação da cinza do bagaço de cana a mistura foi realizada variando os teores de cimento em relação a cinza, assim, foram utilizadas as proporções (cimento/CBC), em massa, de 100/0, 90/10, 80/20 e 50/50. Assim, foi adotada a nomenclatura solo-cimento (cimento/CBC) para descrever os diferentes grupos, sendo eles: Solo puro, solo-cimento (100/0), solo-cimento (90/10), solo-cimento (80/20) e solo-cimento (50/50).

Os corpos-de-prova (CPs) cilíndricos de solo-cimento (dimensões de 12,7 cm de altura e 10 cm de diâmetro) foram moldados de acordo com a norma NBR 12024 (ABNT, 1992) utilizando proctor. A moldagem foi realizada compactando-se o material em um molde cilíndrico de 20 x 10 cm. Neste procedimento, o material foi compactado em 3 camadas com 26 golpes cada utilizando um soquete de 2,5 kg caindo de uma altura de 30 cm. Foram moldados um conjunto de quatro CPs para cada grupo conforme apresentado na Figura 2. Após a moldagem, os CPs permaneceram curando em temperatura ambiente e umidade controlada durante 28 dias.

Figura 2 – Corpos de prova cilíndricos com dimensões de 20 x 10 cm



Fonte: Próprio autor (2019)

### 2.3 Ensaio de absorção de água

A análise de absorção de água dos corpos-de-prova foi realizada seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma NBR 8492/1984. Inicialmente, os CPs foram secos em estufa à 105 °C até a constância da massa e pesados. Em seguida, foram imersos em água durante 24 h, retirados e novamente pesados para a obtenção da capacidade de absorção. Os valores de absorção de água são obtidos pela seguinte expressão:

$$A = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

Onde,

A = Absorção de água (%)

M1 = Massa do corpo-de-prova seco (g);

M2 = Massa do corpo-de-prova saturado (g);

### 2.4 Ensaio de resistência à compressão

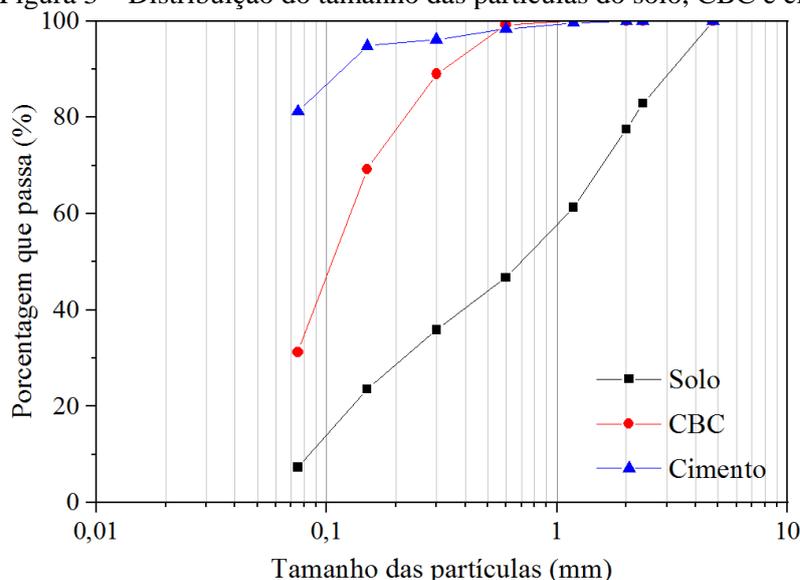
Após os 28 dias, as amostras confeccionadas foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão simples. Conduzido de acordo com a norma NBR 8492 (ABNT, 1984), os corpos-de-prova foram preparados da seguinte maneira: cortou-se ao meio na horizontal. Aplicando por suas maiores faces, as duas metades obtidas e as superfícies cortadas invertidas, ligando-as com uma camada fina de pasta de cimento Portland. Houve um tempo de espera de 24 horas. Os corpos-de-prova foram colocados de maneira centralizada sobre o prato inferior da Máquina Universal de Ensaio Mecânicos CONTECO (I-3058) com uma célula de carga de 100T e velocidade do ensaio de 200 kgf/min, de forma que, aplica se uma carga uniforme, levada até ocorrer a ruptura do corpo-de-prova. Os valores da tensão de ruptura expressos em MPa, foram obtidos dividindo a carga máxima do ensaio pela área da seção transversal. Os resultados do ensaio foram interpretados com o auxílio de análise de variância ANOVA. Quando se observaram diferenças significativas, os materiais foram comparados entre si, por meio do teste de Tukey com 5% de probabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização física do solo e distribuição do tamanho das partículas

As curvas de distribuição do tamanho das partículas, obtida via peneiramento, são apresentadas na Figura 3. Os resultados apontam que as amostras compõem diferentes faixas de tamanhos, onde o cimento apresenta as menores partículas registradas. A análise granulométrica do resíduo de CBC mostra que o material apresenta um alto percentual de partículas grosseiras relacionadas as longas fibras de bagaço não queimado. Essas partículas porosas podem ser resultado da combustão de matéria orgânica durante a queima do bagaço (AMARAL, 2014).

Figura 3 – Distribuição do tamanho das partículas do solo, CBC e cimento



Fonte: Próprio autor (2019)

O solo coletado apresentou composição de 35,70% areia, 37,50% argila e 26,90% silte de acordo com a análise granulométrica dos sólidos. A curva do solo aponta um maior valor do coeficiente de uniformidade, indicando que a massa de areia/argila/silte consiste em diferentes faixas de tamanhos de partículas. A distribuição de matérias-primas usadas é muito importante, pois afeta diretamente a porosidade total dos corpos de prova (ELERT & CULTRONE, 2003). Em relação a granulometria do solo, foi possível observar que o mesmo atende as especificações da NBR 10832 (ABNT, 1989), no qual exige que o solo tenha uma porcentagem passante de 100% na peneira de 4,8 mm e 10 a 50% na peneira de 0,075 mm. O solo estudado possui uma grande fração de argila e por isso o cimento tem papel importante em sua estabilização, diminuindo a plasticidade da fração argilosa, podendo ser ou não acompanhada de aumento na resistência mecânica (DIAS, 2012).

Os limites de consistência foram influenciados consideravelmente pela textura do solo. As frações de argila e silte apresentaram relação positiva sobre os valores, sendo os Limites de Liquidez (LL) e de Plasticidade (LP) registrados de 54,30% e 33,60% respectivamente e um Índice de Plasticidade (IP) igual à 20,60%. Segundo as recomendações da NBR 10832 (ABNT, 1989), o solo utilizado para a fabricação de tijolos de solo-cimento deve apresentar limite de liquidez e limite de plasticidade menor ou igual a 45% e 18% respectivamente. Os resultados da análise do solo estudado apresentam valores abaixo do recomendado, sendo altamente plástico de acordo com os limites de Atterberg, indicando que este não possuía uma boa coesão entre as partículas.

A análise da consistência do solo permitiu compreender sobre a sua suscetibilidade à compactação, o que exige um manejo adequado em relação a umidade. Quanto maior o índice de plasticidade do solo, maior será a dificuldade em estabilizá-lo, uma vez que o material estará mais sujeito às variações dimensionais, provenientes do seu inchamento quando úmido e da sua retração quando seco (MIELI, 2009). O solo foi classificado como silte argiloso a partir da análise do triângulo textural, de acordo com o Manual Técnico de Pedologia do IBGE (IBGE, 2007) e demonstrou impróprio para a produção do tijolo solo-cimento, o que exigiu maiores quantidades de aglomerante para o processo de estabilização.

### 3.2 Resistência mecânica

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão foram obtidos através dos rompimentos dos corpos de prova (CP) aos 28 dias e são apresentados na tabela 1. Todos os grupos que possuíam cimento em sua composição obtiveram valores de resistência aceitáveis aos 28 dias de cura.

**Tabela 1-** Resistência à compressão média dos corpos de prova

Mistura	Cimento (%)	CBC (%)	Limite de resistência (MPa)
Solo	0	0	1,15
Solo-cimento (100/0)	100	0	4,05
Solo-cimento (90/10)	90	10	3,45
Solo-cimento (80/20)	80	20	3,73
Solo-cimento (50/50)	50	50	2,35

Fonte: Próprios autor (2019)

A Figura 4 apresenta a região de fratura dos corpos de prova após o rompimento no ensaio de compressão simples. Segundo a NBR 5739 (ABNT, 1994), os CP apresentaram ruptura colunar e cônica bipartida, decorrente do excesso de carga.

Figura 4 - Fratura dos corpos de prova após ensaio de compressão: solo-cimento (80/20) (a) e solo-cimento (100/0) (b).

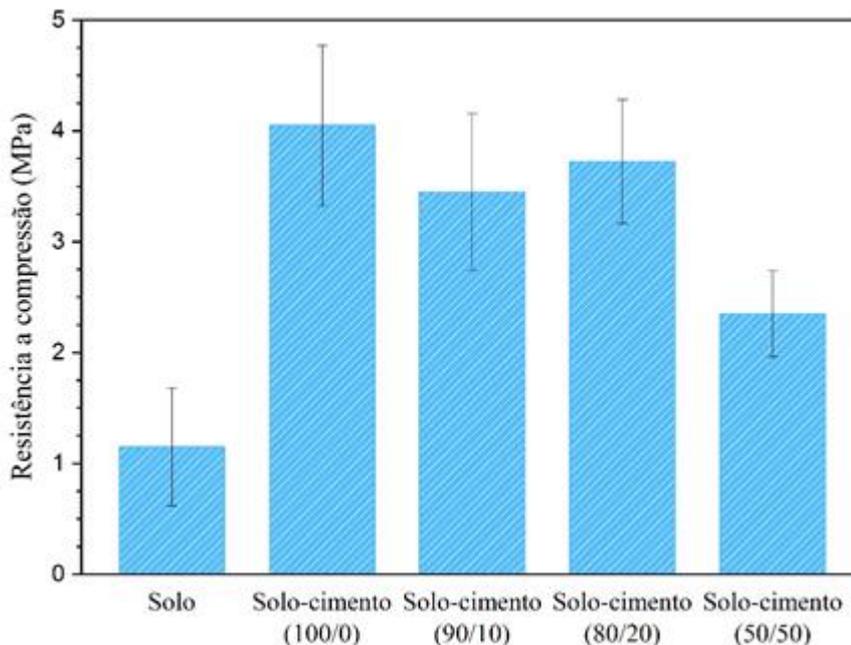


Fonte: Próprio autor (2019)

O tijolo de solo puro apresentou resistência mecânica inferior a todos os grupos, apesar de apresentar boas qualidades isolantes e resistentes, existe a necessidade de estabilizá-lo, o que corresponde na melhoria do desempenho mecânico e redução de permeabilidade. O cimento é o principal estabilizador mineral existente usado para obtenção de uma boa resistência do material (AMARAL, 2014). Em relação aos corpos de prova de solo-cimento, a resistência diminuiu de acordo com o aumento da substituição parcial do cimento pela CBC, o que está de acordo com resultados encontrados por Kazmi et al. (2016). Este resultado está associado a redução da quantidade de cimento no traço, visto que o cimento é o responsável por promover o aumento de resistência da mistura (AMARAL, 2014).

O gráfico da Figura 5 apresenta uma comparação entre todos os grupos de tijolos de acordo com a composição de cada traço. É possível observar que todos os grupos, com exceção do solo puro, apresentaram valores da resistência média acima das recomendações da NBR 8492 para tijolo maciço de solo-cimento (2,0 MPa) (ABNT, 2012). A manutenção da resistência mecânica dos corpos de prova com adição da CBC acontece devido o teor de pozolana e seu efeito de enchimento ao ser inserido na composição solo-cimento (ARIF et al. 2016). Entre os grupos estudados o solo-cimento (80/20) apresentou a maior resistência mecânica entre os tijolos que utilizaram CBC. Segundo Ganesan et al. (2007), a substituição parcial do cimento em 20% apresenta os melhores resultados de resistência mecânica em materiais cimentícios. Utilizando essa porcentagem a composição do tijolo se mostra eficiente, e a quantidade de sílica encontrada em forma cristalina é eficaz para substituir o cimento sem comprometer a sua estrutura. Isso é perceptível ao se comparar com o tijolo solo-cimento sem adição de CBC em sua composição. No entanto, a CBC com alta perda de ignição diminuirá a resistência à compressão, principalmente nas idades iniciais. Verificou-se também que a substituição do cimento pela CBC em 20%, requer uma grande quantidade de plastificante para obter boa trabalhabilidade (YADAV et al. 2019).

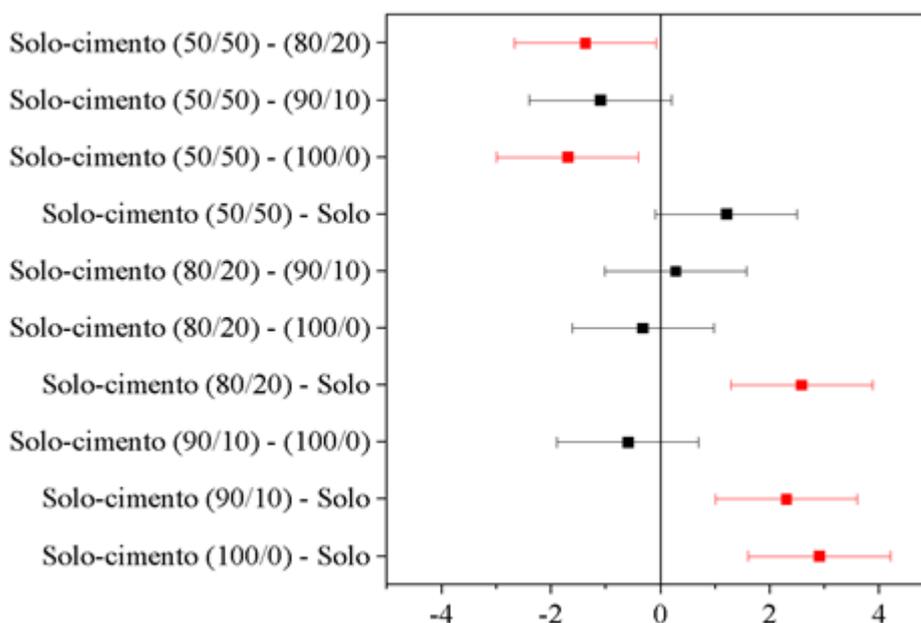
Figura 5 - Resistência à compressão aos 28 dias de cura dos tijolos de solo-cimento



Fonte: Próprio autor (2019)

A Figura 6 apresenta o resultado da análise de Tukey com nível de significância de  $p = 0,05$ . No gráfico, o intervalo de valores em vermelho aponta os tijolos que são significativamente diferentes entre si, caso o intervalo intercepte o valor 0 os tijolos são significativamente iguais. De acordo com a análise Tukey o valor da resistência à compressão é significativo quando comparado os tijolos solo-cimento (100/0) em relação aos tijolos solo-cimento (90/10) e solo-cimento (80/20).

Figura 6 - Gráficos da análise de Tukey para a limite da resistência dos tijolos de solo-cimento



Fonte: Próprio autor (2019)

A análise indica que os grupos solo-cimento (100/0) e solo-cimento (80/20) são estatisticamente iguais em um nível de 95% de confiança. Apesar de ter apresentado a menor resistência média entre os grupos de solo-cimento, o teste Tukey apontou que o tijolo solo-cimento (50/50) exibe resistência mecânica estatisticamente semelhante ao solo-cimento (90/10), indicando que o uso desta composição pode substituir os grupos que utilizaram a substituição do cimento em até 40%. Segundo Jamsawang et al. (2017) a substituição parcial de 20% do cimento pela CBC é considerada como quantidade ideal, visto que apresenta o mesmo efeito fortalecedor se comparado ao cimento usados isoladamente. Entretanto, a adição gradativa da CBC na composição do tijolo pode comprometer a resistência mecânica se adicionada em grandes quantidades (KAZMI, et al., 2016). Esse comportamento pode ser relacionado a decomposição da matéria orgânica a partir da amostra de resíduos, gerando poros na estrutura e a presença de um elevado teor de partículas de sílica cristalina na amostra de resíduo, que tende a induzir falhas no material. Os dados acima sugerem que adições de níveis muito altos quantidades de CBC (acima de 20%) devem ser evitados, porque prejudicam a resistência mecânica das peças (FARIA et al. 2012). Isso explica a perda de resistência entre o grupo solo-cimento (50/50) se comparado com os demais tijolos.

### 3.3 Absorção de água

A tabela 2 apresenta os resultados referentes à análise da absorção de água estudada a partir de uma média aritmética de 4 repetições.

**Tabela 2-** Média das porcentagens de absorção de água

Mistura	Cimento (%)	CBC (%)	Absorção de água (%)
Solo	0	0	-
Solo-cimento (100/0)	100	0	9,65
Solo-cimento (90/10)	90	10	9,44
Solo-cimento (80/20)	80	20	7,46
Solo-cimento (50/50)	50	50	3,61

Fonte: Próprio autor (2019)

Nos corpos de prova é possível observar uma diminuição da capacidade de absorção de água ao longo da substituição do cimento pela CBC. O grupo solo não foi realizado o teste de absorção de água devido não haver estabilizante. O traço utilizado para produção do tijolo solo-cimento é satisfatório em relação a absorção de água, visto que os resultados obtidos são inferiores ao valor médio de 20% estabelecido pela NBR 8492 (ABNT, 2012). As partículas finas da CBC têm efeito físico de preencher os microporos do solo permitindo a manutenção da resistência mecânica e o aumento da relação água cimento (ALMEIDA, et al., 2015). O aumento da adição de cinza nos corpos de prova reduziu a porosidade interna dos tijolos levando-os a uma menor capacidade de absorção de água. Sales e Lima (2010) em seus estudos notaram que quando a CBC possui um teor de sílica cristalina relativamente alto na forma de quartzo, ela pode ser utilizada em materiais de construção como substituto ou preenchedor de areia. Essa cinza quando adicionada no tijolo solo-cimento preencheu os vazios, diminuindo a porosidade, levando a uma absorção de água menor.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação das curvas granulométricas referentes as características dos grãos do solo, ligante (cimento) e da cinza do bagaço de cana-de-açúcar, possibilitou a determinação do comportamento destes materiais diante das composições dos corpos de prova. A CBC demonstrou ser um material que possui finuras equivalentes ao dos cimentos se comportando de tal maneira, possibilitando a substituição parcial do cimento pela CBC. A escolha do solo para aplicação na composição do tijolo tem grande importância no comportamento mecânico final, o solo estudado possui composições (areia, silte e argila) consideráveis, onde a porcentagem de silte/argila é maior que a de areia, amparando a necessidade de uma ligante (cimento) para estabilizar a composição. Os resultados dos testes de liquidez e plasticidade do solo demonstraram um solo altamente plástico sendo necessário a possibilidade da regularização do seu traço com areia. A compactação da mistura utilizando o proctor demonstrou ser viável para a produção dos corpos de prova, possibilitando resultados de uma compactação sem fissuras preenchendo os vazios necessários da mistura. O conhecimento destas características limites possibilita uma estimativa de resultados para outros solos contidos nesta faixa.

O estudo da aplicação do resíduo da cinza do bagaço de cana-de-açúcar mostrou que estes resíduos influenciam na resistência das peças confeccionadas com a mistura do solo-cimento-cinza. Para os solos granulares com certas porcentagens de argila é possível destacar um aumento na resistência até um certo teor de CBC, reduzindo gradativamente com o aumento na composição. A inclusão de resíduos, ainda que não proporcione um grande aumento na resistência é aconselhável por comportamento do tijolo. As propriedades mecânicas dos grupos de tijolos estudados após a adição de cinza aos tijolos de solo-cimento apresentaram resultados satisfatórios. A manutenção da resistência dos corpos de prova (CP)

com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar acontece, devido ao teor de pozolana e efeito de enchimento ao da composição solo-cimento. Entre os corpos de prova que utilizaram cinza como substituto do cimento, a proporção de 80/20 (cimento/cinza) apresentou os melhores resultados, evidenciando a eficiência da cinza como substituto do cimento.

As características testadas deste material comprovam a necessidade de estudos para o posicionamento deste tijolo frente aos materiais cerâmicos comumente utilizados na construção civil. Portanto, pode-se concluir que os tijolos que incorporam o resíduo podem ser eficientemente produzidos em larga escala, levando à construção econômica e sustentável. Apesar das conclusões animadoras, a avaliação de outras propriedades físicas dos tijolos de solo-cimento é fundamental para amparar a aplicação do material produzido em situações práticas.

## REFERÊNCIAS

ALEXANDRIA, K. **Cana-de-açúcar em Goiás tem cenário positivo na safra 2017/18**. 29 jun. 2018. Disponível em: <<http://sistemafaeg.com.br/faeg/noticias/noticias/cana-de-acucarem-goias-tem-cenario-positivo-na-safra-2017-18>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

AMARAL, M. C. (2014). **Avaliação da incorporação de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em tijolo solo-cimento**. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF. 98 p. Campos dos Goytacazes-RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. 3.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 2000. 16 p. (BT-111).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **ABNT NBR 6459**: Solo: Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **ABNT NBR 7180**: Solo: Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **ABNT NBR 7181**: Solo: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

\_\_\_\_\_ **ABNT NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento: Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

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

\_\_\_\_\_ **ABNT NBR 12023**: Solo-cimento: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_ **ABNT NBR 12024**: Solo-cimento: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos: Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

ALMEIDA, F. C.R.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; MENDES, P. C.D. Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. **Construction and Building Materials**, v. 82, p. 31-38, 2015.

ARIF, E.; CLARK, M. W.; LAKE, N. Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production. **Construction and Building Materials**, v.128, p. 287-297, 2016.

DIAS, J. J. F. M. S. **Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2012.

ELERT, K.; CULTRONE, G. Durability of bricks used in the conservation of historic buildings-influence of composition and microstructure. **Jornal of Cultural Heritage**, v. 4(2), p. 91-99, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.Ed.rev.atual. Rio de Janeiro, 1997.

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.

FIQUEROLA, V. Tecnologia. **Alvenaria de solo-cimento**, técnica, Abril 2004. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Construction and Building Materials*, v. 29, p. 515-524, 2007.

INSTITUTO MAURO BORGES DE ESTATÍSTICAS E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS – IMB. **Déficit Habitacional nos municípios goianos: uma leitura a partir dos dados do Cadastro Único dos anos de 2017 e 2018** . Goiânia, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2007.

JAMSAWANG, P.; POORAHONG, H.; YOOBANPOT, N.; SONGPIRIYAKIJ, S.; JONGPRADIST, P. Improvement of soft clay with cement and bagasse ash waste. *Construction and Building Materials*, v. 154, n. 12, p. 61-71, 2017.

KAZMI, S. M. S.; ABBAS, S.; SALEEM, M. A.; MUNIR, M. J.; KHITAB, A. Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and Building Materials*, v. 120, p. 29–41, 2016.

MIELI, P. H., Avaliação do tijolo modular de solo-cimento como material na construção civil. Trabalho de Conclusão de Curso. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 2009.

PISANI, M. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo cimento**. São Paulo: Sinergia, 2005. Disponível em: . Acesso em: 10 mar. 2019.

SALES, A.; LIMA, S. A. Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste Manage*, v. 30, p. 1114–1122, 2010.

SILVA, L. O. D.; SANTOS, G. D. N.; SARAVIS, W. K.. **TIJOLO SOLO-CIMENTO. Fabricação e Utilização em Construções que Visam o Equilíbrio Ambiental**, Três Lagoas,MS, 2018. Rev. Conexão Eletrônica.

YADAV, A. L., V. SAIRAM, L. MURUGANANDAM, K. SRINIVASAN. **An Overview of the influences of mechanical and chemical processing on Sugarcane bagasse ash characterisation as a Supplementary Cementitious Material**. *Journal of cleaner production* (2019).