

## **ESTUDO EXPERIMENTAL DAS CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM CAVACO DE EUCALIPTO NA FABRICAÇÃO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**

Marielle Rodrigues Silva

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(marielle.mf.brandao@gmail.com)*

Rafael Brandão Santiago Amaral

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(rafaelbsamaral@icloud.com)*

Ana Lúcia Carrijo Adorno

*Professora Doutora, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis (ana.carrijo@unievangelica.edu.br)*

Kíria Nery Alves do Espírito Santo Gomes

*Professor Mestre, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis  
(kiriagomes@com)*

### **RESUMO**

O ramo da construção civil é responsável por parte significativa (40 a 60%) do montante de resíduos sólidos urbanos, o que gera preocupação quando se pensa em sustentabilidade. Um dos meios de se amenizar os impactos gerados, é a aplicação de métodos que aproveitam esses resíduos. O tijolo de solo-cimento ou tijolo ecológico já traz a ideia de sustentabilidade e nesse trabalho apresenta-se a adição de resíduos em sua composição, para um estudo a fim de melhorar suas propriedades quanto a resistência mecânica. Basicamente o tijolo ecológico é composto por solo (saibro), cimento e água, com a adição dos resíduos foram dispostas quatro amostras, sendo três com substituição parcial do cimento Portland. Os tijolos de solo-cimento foram fabricados, seguindo as prescrições normativas contidas na NBR 10833 (ABNT, 2013), com variadas proporções de cimento por substituição com resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto variando entre teores de 0%, 6%, 8% e 10%. Foram aplicados parâmetros para ensaio de compressão conforme NBR 8492 (ABNT, 2012), onde apresenta valores médios não satisfatórios para atender a normativa, no entanto alguns valores individuais são satisfatórios. Para o teste de absorção de água, todos os valores encontrados, médios e individuais estão em conformidade como preconiza a NBR 8491 (ABNT, 2012). Entende-se a relevância desse trabalho para disseminar trabalhos futuros que visam melhorias na construção civil quanto a sustentabilidade, portanto foram indicados alguns tópicos a serem melhor avaliados para trazer um estudo mais minucioso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo-cimento. Tijolo ecológico. Bagaço da cana-de-açúcar. Cavaco de eucalipto.

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas construtivos sustentáveis contam com meios de construção que asseguram a produção e a racionalização de obras ambientalmente corretas e mais limpas, mediante os materiais empregados ou seus métodos operacionais (LOPES, 2018), algo que vem crescendo bastante durante os anos, como a utilização do tijolo de solo-cimento substituindo o uso de materiais convencionais.

O tijolo de solo-cimento, também conhecido como “tijolo ecológico”, é um material bastante útil para uma construção, em todos os sentidos, visto que apresenta a mesma função estrutural que uma alvenaria convencional, e desde a sua fabricação até a sua utilização em uma obra. É um material financeiramente mais viável e em sua composição contém solo, cimento e água, podendo adicionar resíduos para a melhoria do produto (CORDEIRO; MACHADO, 2017).

O uso do tijolo de solo-cimento, ou tijolo ecológico, é uma solução ambiental e sustentável, com possibilidade de agregar diversos tipos de resíduos dentro do traço, como as cinzas de resíduos do bagaço de cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto, no qual pode substituir parte do cimento Portland, reduzindo o custo e impacto ambiental, já que no Brasil tem um consumo elevado, tornando-o 4º maior consumidor do mundo (FERREIRA, 2009).

## 2 TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

O tijolo de solo-cimento vem se mostrando um material versátil com uma grande relevância sustentável e arquitetônica (visto que pela sua modularidade, possibilita formas arredondadas, curvas e espessuras diferentes), além de obter um diferencial na forma e leveza, com um custo baixo e permite a possibilidade do aproveitamento de materiais da região, sendo essas umas das características que comprovam sua contribuição para uma obra mais sustentável (ECOCASA, 2014).

Segundo Lima F. (2016, apud OSCAR NETO, 2010) essa técnica construtiva proporciona muitas vantagens, tanto ambiental quanto econômico, por exemplo: comparando com a alvenaria convencional, há uma diminuição de 30% no tempo da construção; economia de 70% do concreto e argamassa de assentamento; obra mais limpa e sem entulhos; entre outras.

O tijolo ecológico mais utilizado possui dois furos e por essa característica, o produto possui mais vantagens sobre as alvenarias convencionais, dado que as instalações hidráulicas pode ser toda embutida em seus furos sem que haja a necessidade de quebrar paredes, juntamente com as instalações elétricas dispensando caixas de luz e conduítes, concedendo ao engenheiro/arquiteto a opção de fixar os interruptores e as tomadas diretamente sobre os tijolos. Com uso desse material, a obra tem um isolamento térmico, acústico e proteção de umidade, já que através dos furos há evaporação do ar impedindo a formação de umidade nas paredes (MIELI, 2009).

### 2.1 HISTÓRIA DO SOLO-CIMENTO

Apesar de estudos, feitos por Andrade Filho (1989), apontarem que o conceito de solo-cimento teve conhecimento no ano de 1917, em Salzburgo (Áustria), só há provas concretas do seu uso após 1932 em uma pavimentação de 17.000 m<sup>2</sup> na cidade de Johnsonville, Carolina do Sul, EUA. Os ensaios feitos com solo-cimento começaram a ser normalizados em 1944 pela American Society for Testing Materials (ASTM), logo em seguida pela American Association of State Highway Officials (AASHO) e pela Portland

Cement Association (PCA) (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2007, p. 833), e assim, começou um processo de pesquisas sobre o solo junto com o cimento e aplicados à pavimentação, em seguida, à construção de casas.

No Brasil, o solo-cimento se tornou alvo de pesquisas apenas após a década de 1970 pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento do Estado da Bahia (CEPED), da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) conforme Mercado (1990 apud GRANDE, 2003), porém há registros do uso do solo-cimento em algumas construções no país antes da década de 1970, por exemplo, um hospital situado em Manaus (AM) feito apenas por paredes de solo-cimento, construído em 1953.

## 2.2 COMPOSIÇÃO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

Solo-cimento é o material resultante da mistura homogênea de solo, cimento e água, sua cura acontece na sombra, não tendo necessidade de passar pelo processo de queima, e pelo fato da sua matéria-prima principal ser facilmente encontrada na natureza, é também conhecido como tijolo ecológico (MOTTA et. al, 2014 apud LIMA R., 2010). Tipo de solo, teor de cimento e teor de umidade são umas das principais características que tem influência nas propriedades do solo-cimento, assim como a compactação e homogeneidade da mistura, idade e tempo de cura (SEGANTINI; ALCÂNTARA, 2007).

Menor permeabilidade, aumento de resistência à compressão e o fato do material não se danificar ao submergido em água, são algumas características advindas da adição do cimento. Apesar do cimento não influenciar tanto quanto o solo, seu teor elevado pode acabar causando patologias no material, sendo necessário se atentar quanto a compactação (MIELI, 2009).

### 2.2.1 Características do solo

Na composição do solo-cimento, a proporção do solo é a maior perante aos outros materiais. O cimento e a água são materiais que normalmente apresentam grande uniformidade, ao contrário do solo, que se apresenta bastante variável (MACÊDO, 2004).

Há um bom tempo se tem conhecimento de que, tecnicamente, todo solo pode ser melhorado pela adição de cimento, exceto aqueles que contem mica e húmus em abundância. Entretanto, pode-se afirmar que os solos arenosos de boa graduação e com plasticidade de média a baixa são os mais passíveis de serem estabilizados com cimento, pois requerem baixos teores de aditivo; ao mesmo tempo que aqueles com elevada plasticidade são problemáticos ao demandarem altos teores de cimento e enérgicos equipamentos misturadores (CERATTI, 1991).

De forma geral, as propriedades mecânicas dos solos evidenciam melhorias quando misturados com cimento e submetidos a processos de compactação. Existem, no entanto, limitações ao uso de determinados solos, normalmente vinculadas à trabalhabilidade e a aplicação de cimento. Os limites de consistência, LL (limite de liquidez) e LP (limite de plasticidade), são as variáveis que detalhadamente expressam as condições de trabalhabilidade. De forma a ser mais viável, há um entendimento de que, o solo deve apresentar LL entre 45% e 50% (CEPED, 1984 apud SEGANTINI, 2000). Quanto à granulometria, considera que os solos mais apropriados seriam os arenosos. A existência de grãos de areia grossa e pedregulhos é favorável, pois além de serem materiais inertes, apresentam apenas a função de enchimento, o que favorece a liberação de quantidades maiores de cimento para aglomerar os grãos menores. Os solos devem ter, no entanto, um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento deve-se à coesão da fração fina compactada. Estudos têm demonstrado que quando os

solos possuem um teor de silte mais argila inferior a 20%, impede que a compactação aconteça pois não alcança a resistência inicial para tal ação. Os critérios para a seleção dos melhores solos não apontam muita variação (SEGANTINI, 2000).

“O solo ideal deve conter 15% de silte mais argila, 20% de areia fina, 30% de areia grossa e 35% de pedregulho, já que exigem baixo consumo de cimento.” (SILVA *et al.*, 2008 apud LIMA R., 2010).

### 2.2.2 Características do cimento

O cimento é o material ligante do solo-cimento. A palavra cimento descende do termo latino *caementun*, utilizado pelos nativos de Roma para denominar a mistura de cal com pozolana, oriunda das cinzas vulcânica das ilhas gregas da região de Pozzuoli. Conforme Grande (2003), cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, com adição de gesso (para regular o tempo de início de hidratação ou o tempo de pega) e outras substâncias que determinam o tipo de cimento. O clínquer é o resultado da mistura de calcário, argilas e, em menor proporção, minério de ferro submetida a um processo chamado clinquerização.

Acrescentado o cimento ao solo, suas partículas envolvem fisicamente os grânulos do solo formando agregados que aumentam de tamanho à medida que se processam a hidratação e cristalização do cimento, ocasionando a obtenção de um material em que a absorção e perda de umidade não causam grandes alterações de volume, e não se deteriora quando submerso em água, há o aumento da resistência a compressão e da durabilidade, visto que há uma diminuição na permeabilidade (LOPES, 2002).

“O tipo mais adequado de Cimento Portland para a produção de tijolo de solo-cimento é o CP II-Z, pois possui em sua composição 6% a 14% de pozolana” (VIEIRA *et al.*, 2007 apud CORDEIRO; MACHADO, 2017).

## 2.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO SOLO-CIMENTO

Lima R. (2010) afirma que a primeira etapa antes da preparação do solo-cimento é a seleção do traço, isto é, a dosagem dos componentes, a qual deve ser estudada com cautela, tendo por base as propriedades necessárias para cada aplicação, e geralmente, traços 1:9 e 1:10 são suficientes para o preparo do material. A escolha do traço adequado do tijolo de solo-cimento deve ser o que apresenta a menor aplicação de cimento, porém ao passar por ensaios estabelecidos pela NBR 8492 (ABNT, 2012), que ao ser feito uma análise dimensional do material, com métodos experimentais e possivelmente definindo a sua resistência à compressão e a absorção de água, tem que satisfazer os critérios específicos da NBR 8491 (ABNT, 2012) em que determina a média dos valores (maior ou igual a 2,0MPa de resistência à compressão e menor ou igual a 20% de absorção de água, e os valores individuais, referentes a resistência a compressão (maior que 1,7 MPa) e absorção de água (menor ou igual a 22%) aos 28 dias.

Conforme a ABCP (2000), a produção de tijolos de solo-cimento com o manuseamento de prensas se inicia na preparação do solo, em que o solo, que contém uma baixa umidade, é extraído da jazida e levado para um depósito. É feito o gradeamento do material, e em seguida, faz-se um peneiramento utilizando uma peneira ABNT 4,8mm, descartando o que fica retido. Posteriormente o solo é disperso em um material de superfície lisa, sendo sua camada de até vinte centímetros de espessura, sobre a qual é distribuído o cimento, acompanhado da mistura dos materiais por meio de pás e enxadas, para que assim se alcance a umidade ideal, acrescentando água caso precise. Logo depois, é executada a prensagem do solo-cimento, de acordo com o

ajustamento determinado da prensa, é a parte em que a mistura é distribuída nos moldes, prensando-os e fabricando os tijolos. Ademais, a ABCP (2000) determina também um tempo de cura de sete dias, no qual os tijolos serão frequentemente umedecidos até alcançar a cura que o material necessita.

O mercado no Brasil disponibiliza diversos tipos e modelos de tijolos de solo-cimento, que são empregados nas construções conforme o projeto, mão-de-obra, materiais, equipamentos locais, e outras especificidades, relata Pisani (2002). Segundo Cordeiro e Machado (2017) “os tijolos ecológicos podem ser confeccionados tanto para serem revestidos como para serem utilizados à vista, com finalidade de vedação ou estrutural, conforme a dosagem estabelecida e a prensagem aplicada.”

### 3 SUSTENTABILIDADE

O conceito de “sustentabilidade” surgiu da silvicultura, ciência com o principal objetivo manejar as florestas. Até meados da Idade Moderna, na construção de casa e barcos, a matéria prima mais utilizada era a madeira, que também tinha função de combustível para cozinhar. O aproveitamento da madeira aconteceu de forma tão excessiva, principalmente em Portugal e na Espanha, por serem as maiores potências marítimas no século XVI, que as florestas começaram a escassear. No entanto, o cuidado com o uso das florestas de forma responsável, não impedindo que as mesmas se regenerassem, seu deu na Alemanha, em 1560, surgindo assim, a palavra alemã *Nachhaltigkeit* (sustentabilidade) (BOFF, 2012).

#### 3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A sustentabilidade aplicada na engenharia civil, ou construção sustentável, é algo recente na área e que pode ser empregado nos projetos de estrutura de qualquer tipo através das cinco ideias básicas que reforçam o conceito de construção sustentável: redução da poluição, eficiência energética, aproveitamento da água, projetos inteligentes e materiais ecológicos. O objetivo que um arquiteto ou engenheiro busca ao desenvolver um projeto sustentável é reduzir a utilização de recursos naturais e conservar o meio ambiente usando tecnologias ecológicas, como o reaproveitamento ou reciclagem de resíduos sólidos (LÊDO, 2015).

Ao elaborar um projeto sustentável de uma edificação, deve ser feito uma análise sobre o clima do local em questão, e assim obter conhecimento sobre a umidade, potência de ventos, entre outras características microclimáticas, e adquirir um bom desempenho energético mediante técnicas arquitetônicas apropriadas (CORRÊA, 2009).

##### 3.1.1 Desperdício em Obras

No Brasil, a taxa de desperdício na construção civil é preocupante. Uma pesquisa realizada por 16 faculdades brasileiras (USP, UFBA, UFSCar, entre outras) e financiada pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos do Ministério da Ciência e Tecnologia), chegou-se à conclusão que, em média, há até 8% de gastos a mais em materiais por motivos de perdas e se tratando de blocos e tijolos, por exemplo, o desperdício ultrapassa 10% (CONSTRUCT, 2016).

O artigo 4º da Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 307 afirma “Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.”, então a

utilização dos tijolos de solo-cimento é um método para evitar a produção de resíduos nas construções, diferente dos materiais convencionais.

### 3.1.2 Reciclagem

O objetivo principal da reciclagem é controlar o uso de recursos naturais e que no processo de produção haja uma preservação da matéria-prima. Para que os resíduos sejam reciclados com qualidade, os mesmos têm que ser qualificados, então é importante que haja consciência do profissional responsável pelo entulho da obra da sua importância quando for segregar os resíduos. Uma forma prática para a seleção dos resíduos com qualidade para serem reciclados é coordenar os seus fluxos e aplicar uma prática de segregação ou armazenamento (CORRÊA, 2009).

O coprocessamento (reciclagem de resíduos provenientes de indústrias), após o aterro industrial, é o procedimento que mais se utiliza para a finalidade desses resíduos. O método de coprocessar é basicamente utilizar os resíduos industriais na fabricação do clínquer (componente do cimento) substituindo a matéria-prima e/ou combustível (CORRÊA, 2009).

## 4 CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM CAVACO DE EUCALIPTO

### 4.1 ATIVIDADE POZOLÂNICA

Material silicioso encontrado de forma natural ou artificial, a pozolana tem potencial cimentício quando bem fino e em contato com água expostos à temperatura normal.

De acordo com Oliveira *et al.* (2017), a pozolana tem como característica importante o poder aglomerante, já que sua composição tem alta capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio liberado durante o processo de hidratação do cimento, formando compostos estáveis. A não adição de água nesses materiais acarreta em pouca ou nenhuma propriedade aglomerante.

“Registros históricos comprovam que pozolanas misturadas com água e cal já eram usadas a cerca de 2000 anos atrás pelos romanos em construções que continuam praticamente intactas até os dias atuais” (MASSAZZA, 1998 *apud* BARROSO, 2011).

Conforme a NBR 12653 (ABNT, 2014) há classes de materiais pozolânicos como a cinza da casca do arroz, cinza volante, cinzas vulcânicas e o nosso material de estudo, cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto.

### 4.2 CINZAS DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

Em 1532 o militar português, comandante da primeira expedição colonizadora enviada ao Brasil, Martin Afonso de Souza trouxe a primeira muda de cana-de-açúcar por se tratar de um produto bem quisto e muito consumido no comércio europeu (PAULA *et al.*, 2009).

Recurso agrícola natural e renovável, seu cultivo tem grande importância para o Brasil por ser matéria prima para produtos como etanol, açúcar e energia.

Para a geração de energia são utilizados os resíduos da biomassa da cana-de-açúcar conhecido como bagaço, de onde provém as cinzas constituídas, principalmente, de sílica (SiO<sub>2</sub>), gerando uma atividade pozolânica.

Em valores aproximados, a biomassa é composta por apenas 3% de teor de cinzas, 44,5% de fibras lignocelulósicas, 50% de umidade e 2,5% de sólidos solúveis em água (BORTOLETTO, 2014).

Sendo assim mesmo em percentual baixo, havendo a queima adequada para manter a sílica composta no bagaço em estado amorfo, as cinzas residuais do bagaço de cana-de-açúcar (CBC) apresenta potencial para ser utilizada como aditivo mineral, com finalidade de substituir parte do cimento em argamassas e concretos (CORDEIRO *et al.*, 2008), no caso, tijolo de solo-cimento.

A utilização de CBC em tijolo solo-cimento tem tido gradativa relevância em seu estudo e incorporação por ser um resíduo com disposição em abundância no meio ambiente, além de possuir características singulares dependendo do tipo de cana.

Portanto, por ser uma matéria-prima que apresenta baixo custo e resíduo em grande quantidade no meio ambiente, a CBC é uma nova alternativa para fabricação de tijolos de solo-cimento apresentando vantagens socioeconômicas e ambientais (AMARAL, 2014).

#### 4.3 CINZAS DO CAVACO DO EUCALIPTO

Assim como a cana-de-açúcar, o cultivo do eucalipto tem grande importância para o Brasil por ser matéria prima para produtos e por ser utilizado como combustível renovável. A madeira de eucalipto tem sido usada como fonte de energia há milhares de anos e atualmente é a matéria-prima brasileira mais utilizada no ramo industrial (GLUITZ; MARAFÃO, 2013 *apud* VALVERDE *et al.*, 2017).

Conforme Ramos *et al.* (2013), as cinzas do cavaco de eucalipto (CCE) possuem atividade pozolânica, tal qual a CBC, com atributos para serem utilizadas em compostos cimentícios em substituição parcial da areia ou do cimento.

A CCE pode ser encontrada facilmente e em grande quantidade, questão que influenciou na escolha desse material para também ser objeto de estudo, mesmo que em proporção menor que a CBC.

Pensar em sustentabilidade dentro da construção civil nos leva a buscar por métodos que agredem menos o meio-ambiente ou ajudem a amenizar os impactos causados por resíduos, como as cinzas por exemplo.

### 5 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental apresentado neste projeto foi realizado no Centro Tecnológico (CT) do Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, quanto a confecção dos tijolos de solo-cimento foi desenvolvida na Tijoleko, empresa de cunho sustentável localizada na cidade de Anápolis, com especialização em produzir este material. Com os ensaios e testes nos corpos de prova verificou-se as alterações de resistência à compressão e absorção de água seguindo a norma vigente para essas especificações, trazendo novas informações que podem contribuir para estudos futuros para esse método construtivo.

#### 5.1 CONFECÇÃO TIJOLO SOLO-CIMENTO

O tijolo terá as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar e cavaco de eucalipto como substituinte parcial do cimento, o qual irá consistir em diferentes percentagens da

composição em três traços, e assim será realizada uma conclusão quanto sua influência relacionada as solicitações mecânicas.

### **5.1.1 Saibro**

Para a confecção foi utilizado o saibro, que é o solo de uso comum da empresa na fabricação dos tijolos. O saibro é originado pelo intemperismo incipiente de rochas graníticas, que, de acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), possui em sua composição minerais parcialmente decompostos, arenoso ou siltoso, além de ter um baixo teor de argila e variação de cor.

Mesmo apresentando um pequeno desvio referente a retenção de material na peneira de 4,76 mm, com uma variação de 0,3%, o recomendado é que haja uma troca de solo para algum que cumpra todas as orientações normativas, porém foi empregado o saibro pelo fato do mesmo ser utilizado pela empresa na obtenção dos tijolos de solo-cimento.

Sendo o limite de liquidez aceitável de um solo para fabricação do solo-cimento menor ou igual a 45%, o saibro atende as orientações da norma por possuir um limite de liquidez de aproximadamente 30% (CAMPOS; PINA, 2018).

### **5.1.2 Cimento**

O cimento utilizado para confecção dos tijolos de solo-cimento, foi o mesmo utilizado pela empresa da cidade de Anápolis encarregada pela produção, denominado como CP V – ARI da marca Votorantim (Obras Especiais), recomendado para indústrias de artigos pré-moldados por possuir altas resistências iniciais após sua aplicação, auxiliando no manuseio assim como nos procedimentos de transporte e cura.

### **5.1.3 Cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto**

A empresa Granol, situada na cidade de Anápolis, na qual é totalmente voltada para o agronegócio, faz o uso do bagaço da cana-de-açúcar misturado com cavaco de eucalipto (numa proporção de 80% para 20%) como combustível de maquinários para a produção ser realizada, e assim, após a queima desses materiais, origina as cinzas, na qual a empresa disponibilizou uma quantidade para a realização desta pesquisa. O resíduo foi utilizado da mesma maneira que proveio do seu processamento.

### **5.1.4 Traços**

Utilizando-se como base a NBR 10833 (ABNT, 2013), ao ser produzido um traço para confecção do tijolo solo-cimento, deverá ser moldado no mínimo 20 unidades de tijolos ou blocos e assim, para a realização dos ensaios, devem ser retiradas dez amostras de forma aleatória. Serão confeccionados quatro traços de solo-cimento. Após preparados, as amostras serão ensaiadas conforme requisita NBR 8492 (ABNT, 2012) que aborda os procedimentos de ensaio utilizados para a caracterização do tijolo solo-cimento.

Para a fabricação dos tijolos submetidos aos ensaios, foram realizadas substituições parciais do cimento pelas cinzas do bagaço da cana-de-açúcar com cavaco de eucalipto em três dos quatro traços, com a finalidade de reduzir a quantidade utilizada de cimento.

As percentagens escolhidas (6%, 8% e 10%) para substituição parcial do cimento Portland foram baseadas em estudos já realizados em artigos científicos, mas com

valores distintos para aumentar a gama de informações e possibilidades, principalmente, almejar uma maior resistência à compressão com esses valores.

Para um melhor entendimento dos resultados, foram substituídas em percentagem em relação ao peso do cimento.

Todo o material deve ser despejado dentro de um recipiente, chamado skip, para que o lançamento no misturador automático possa ser efetivo. Conforme apresenta a NBR 10833 (ABNT, 2013), que informa a respeito da fabricação dos tijolos de solo-cimento, a mistura dos materiais deve ser realizada de forma manual ou mecânica, esse processo deve ocorrer até os materiais atingirem coloração uniforme exibindo uma homogeneização dos constituintes. A água, deve ser aplicada gradualmente, misturando os materiais até que alcancem a umidade ideal para prosseguir com a produção.

Após a mistura ser sucedida, o material deverá ser transportado para a efetuação da prensagem, para que as interações de hidratação do cimento não comprometam os requisitos mecânicos do produto.

De acordo com a empresa de Anápolis fabricante dos tijolos de solo-cimento, o parâmetro de fabricação que eles utilizam é embasado na aplicação de 300 litros de solo, 40 quilogramas de cimento, sendo que há uma variação da quantidade de água pois depende da umidade do solo, portanto, sua aplicação é baseada nos aspectos visuais do componente, dado que tal relação permite a confecção de 120 tijolos.

Com as informações adquiridas, foi usado uma associação proporcional para chegarmos ao traço T0 que é o padrão, no qual foi estabelecido a fabricação de 25 tijolos de cada traço para seguir adiante com a análise e os ensaios regulamentares.

Com as propriedades matemáticas da regra de três simples, sucedeu na relação resultante de 62,5 litros de solo e 8,33 quilogramas de cimento, não havendo necessidade de implementar os atributos do arredondamento, e para prosseguir, a aplicação da água, no valor de 5 litros, deu-se através de uma análise visual de um dos técnicos da empresa pelo fato do aglomerado ter chegado a condições parecidas com as usuais.

Para obtenção dos tijolos foram produzidos quatro traços, o primeiro fabricado como traço referência e os demais seguindo as variações substituindo parcialmente os pesos do cimento, adequados de maneira que permitisse a sua execução e implementação detalhados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Traços produzidos**

Traço	Cinzas (%)	Solo (L)	Cimento (Kg)	Água (L)	Resíduo (Kg)	Tijolos Fabricados (Unidades)
T0	0	62,5	8,33	5	0	22
T6	6	62,5	7,83	5	0,5	22
T8	8	62,5	7,66	5	0,67	20
T10	10	62,5	7,5	5	0,83	21

Fonte: AUTORES.

Houve perda do material no decorrer dos processos de fabricação, o que resultou em uma quantidade menor do que o planejado, entretanto como a NBR 10833 (ABNT, 2013) afirma, para que os ensaios sejam efetuados são precisos 20 unidades, seguindo as prescrições normativas da NBR 8492 (ABNT, 2012), sendo que dentre as 20 unidades devem ser escolhidas, aleatoriamente, 10 unidades, nas quais 7 unidades deverão ser submetidas ao ensaio de compressão e as outras 3 unidades submetidas aos ensaios de absorção de água para averiguar se cumprem a norma.

As dimensões nominais do produto fabricado, os tijolos solo-cimento, são de 25 x 12,5 x 7 centímetros, as quais cumprem a NBR 10833 (ABNT, 2013) pela metodologia

executada para a aquisição do produto assim como pelas propriedades físicas em relação a suas dimensões.

### **5.1.5 Cura**

Segundo a NBR 10833 (ABNT, 2013), após finalizar o processo de produção, os tijolos ou blocos têm que ser empilhados, em superfície plana e lisa, até uma altura máxima de 1,5 metros, em local coberto. Quanto a sua aplicação, após se passar 14 dias desde sua confecção, os tijolos de solo-cimento poderão ser utilizados.

Para dar início ao processo de cura dos tijolos, os mesmos foram empilhados em paletes. De acordo com as determinações normativas, com a finalidade de assegurar a cura necessária, os produtos devem ser umedecidos ao longo dos sete primeiros dias após a moldagem. Para colaborar com o processo de cura, os tijolos foram posicionados em um palete protegido por plástico bolha para que não ocorresse contato entre os tijolos e a madeira e os mesmos conseguissem ter sua umidade absorvida pelo material.

## **5.2 ENSAIOS**

### **5.2.1 Análise dimensional**

Para a efetuação dos ensaios, foi utilizado os tijolos produzidos com dimensões de 25 x 12,5 x 7 centímetros segundo especificado na seção 5.1.4.

Os tijolos escolhidos para serem produzidos são do tipo B, que de acordo com a NBR 8491 (ABNT, 2012), devem possuir dimensões de 25 x 12 x 7 centímetros, porém apesar das dimensões dos tijolos em estudo não estarem de acordo, a norma permite apresentar diferenças, contanto que a largura do tijolo seja maior que a sua altura.

Houve a utilização de um paquímetro digital cedido pelo CT da UniEvangélica (Anápolis) com verificação de calibração para a efetuação das análises dimensionais. Segundo a NBR 8492 (ABNT, 2012), para cada dimensão de prova necessitam ser realizadas no mínimo 3 verificações em pontos distintos de cada face, sendo efetuada uma determinação em cada extremidade e no meio do corpo de prova. A resolução do paquímetro foi de 0,5 mm de acordo com o solicitado pela norma.

### **5.2.2 Ensaio de resistência à compressão**

Para dar início aos ensaios de resistência à compressão foram seguidas as prescrições apresentadas na NBR 8492 (ABNT, 2012). As solicitações mecânicas de cada amostra serão estabelecidas com o ensaio de sete unidades, as quais precisarão passar por processos para autenticar sua resistência à compressão.

Os ensaios de resistência as solicitações de compressão foram baseados na norma referida no parágrafo antecedente. Conforme as especificações fundamentais para a aceitação dos tijolos determinadas pela NBR 8491 (ABNT, 2012), é estabelecido uma resistência mínima individual de 1,7 MPa para cada tijolo ensaiado.

“Os valores individuais de resistência à compressão são obtidos através da divisão da carga máxima de ruptura pela área da seção de trabalho” (CAMPOS; PINA, 2018). O rompimento foi realizado após 30 dias da data de fabricação.

Em seguida serão exibidas as etapas, baseadas nas determinações estabelecidas na norma NBR 8492 (ABNT, 2012), a serem desenvolvidas para a aquisição do corpo de prova, o qual será utilizado no ensaio de compressão.

- a) Efetuar um corte perpendicular à sua maior dimensão, dividindo o tijolo ao meio;

- b) Superpor suas faces de maneira que suas dimensões de maior proporção estejam perpendiculares no sentido horizontal. Efetuar a união das partes com a aplicação de pasta de cimento Portland;
- c) Se o tijolo apresentar rebaixos, deve sobrepor as faces de forma que as reentrâncias fiquem situadas nas faces de trabalho e preenchê-las com pasta de cimento Portland para regularizar, e assim, não prejudicar os resultados;
- d) Como explicado na NBR 8492 (ABNT, 2012), deve-se utilizar pasta de cimento Portland com espessura de 3 milímetros para obter a pasta de capeamento para efetuar o ensaio de compressão. Após finalizar o capeamento, foi averiguado o nivelamento dos corpos de prova com um nível de bolha, dado que seu desnível pode afetar na etapa de rompimento, na qual determinará sua resistência as solicitações mecânicas;
- e) Após todos os tijolos serem capeados e a pasta adquirir o endurecimento necessário, os mesmos deverão ser submersos em água por no mínimo 6 horas. Para garantir o devido índice de absorção os corpos de prova foram deixados submersos em 7 horas antes da realização do ensaio à compressão;
- f) Os corpos de provas foram rompidos através da prensa mecânica Universal Pavitest Contenco, a qual é encarregada pela distribuição das solicitações ao corpo de prova de forma contínua gerando nenhum impacto que seja capaz de atrapalhar a análise dos resultados. O corpo de prova precisará ser posicionado no prato inferior do equipamento e estar centralizado para que haja melhores distribuições das solicitações. A carga foi elevada gradativamente até haver a ruptura do corpo de prova.

### **5.2.3 Ensaio de absorção de água**

Para efetuação do ensaio de absorção de água de acordo com as prescrições da NBR 8492 (ABNT, 2012), utiliza-se a parte equivalente aos 30% da amostra representativa. No caso estudado, para desenvolver o ensaio, foram utilizados três corpos de prova de cada traço. Os corpos de prova foram dispostos em uma estufa em temperatura de 110 °C, o qual é pedido pela a NBR 8492 (ABNT, 2012), já que a mesma afirma que é necessário a estufa estar de 105 °C a 110 °C. O corpo de prova deverá ser mantido na estufa até alcançar uma massa permanente, adquirindo assim a massa M1 do corpo de prova seco.

Após obter estabilidade de massa, os corpos de prova deverão ser retirados da estufa. Como serão submergidos em água, e assim sofrerão uma rápida alteração de temperatura, não poderá ocasionar nenhum efeito em sua estrutura, assim sendo, os tijolos devem atingir a temperatura ambiente antes de serem submetidos a submersão no tanque.

Os tijolos deverão ser submergidos em um tanque por um período de 24 horas. Após retirados da água, enxugar superficialmente com um pano levemente umedecido e proceder com a pesagem dos tijolos antes de decorridos 3 minutos, e assim obter a massa M2 equivalente ao corpo de prova saturado.

## **6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **6.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS**

Os resultados atingidos serão avaliados de acordo com os critérios descritos na NBR 8491 (ABNT, 2012) – Tijolo de solo cimento – Requisitos. No Quadro 1 apresenta-se os critérios atendidos para que os resultados apresentados pelos ensaios estejam de acordo com a norma e assim, serem aceitos.

**Quadro 1 - Critérios de análise**

Classificação		Requisito
Tolerâncias dimensionais	Largura	± 1 mm
	Altura	
	Comprimento	
Resistência à compressão	Valores médios	≥ 2,0 MPa
	Valores individuais	Não inferior a 1,7 MPa
Absorção de água	Valores médios	≤ 20% para valores médios
	Valores individuais	≤ 22% para valores individuais

Fonte: ABNT, 2012

### 6.1.1 Análise dimensional

As dimensões dos tijolos produzidos para o estudo são de 25 x 12,5 x 7 centímetros, porém ao fazer a aferição houve uma pequena diferença nas dimensões da maioria dos corpos de prova, na qual é permitido pela NBR 8491 (ABNT, 2012) conforme as informações apresentadas no Quadro 1.

### 6.1.2 Absorção de água

Para a efetuação da análise dos resultados adquiridos no ensaio de absorção de água estabelecido pela NBR 8492 (ABNT, 2012), utilizou-se a literatura para esclarecer e ensinar a respeito das operações a serem operadas para adquirir os resultados. Estipula-se o índice de absorção do material por:

$$A = \frac{M2 - M1}{M1} \times 100 \quad (1)$$

onde:

- A – é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);
- M1 – é a massa do tijolo seco em estufa, dado em gramas (g);
- M2 – é a massa do tijolo saturado, dado em gramas (g);

O índice de absorção do material é uma condição que afeta, de forma direta, o desempenho do produto, no qual o ensaio representa o desempenho prático do tijolo em situações a qual será utilizado. Este índice está diretamente ligado a um elemento que tem atuação significativa na vida útil deste material: a porosidade.

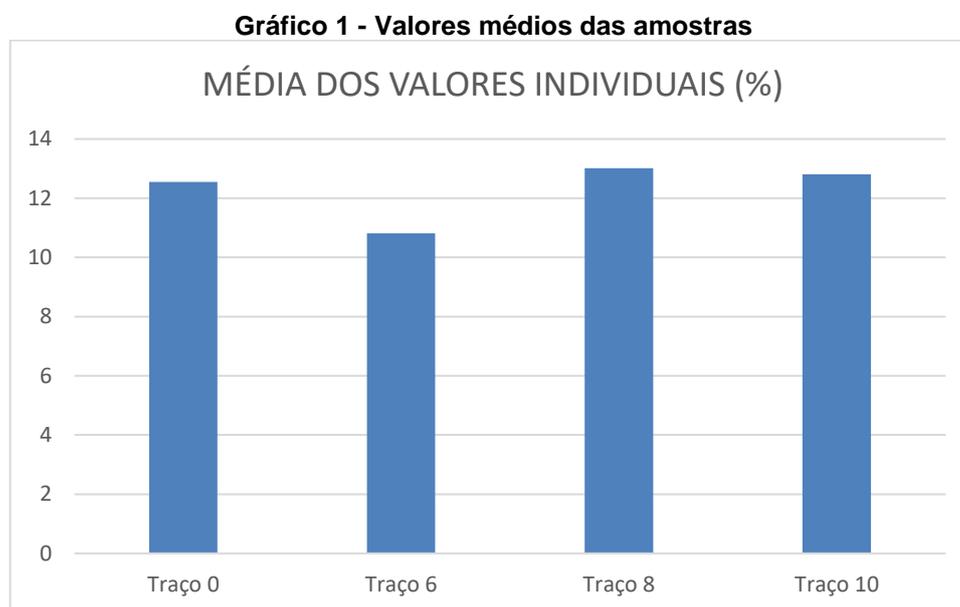
Para obter os resultados necessários dos valores individuais de cada amostra, utilizou-se a Equação 1 que orienta em relação a definição do índice de absorção. Após obter os valores individuais, deve-se calcular os valores médios assim conferir se estão conforme o exigido pela NBR 8492 (ABNT, 2012), resultados na Tabela 2 e no Gráfico 1.

Realizado os testes, notou-se que os valores individuais não ultrapassaram o valor de 22% e os valores médios não ultrapassaram o valor de 20%, atendendo o que é exigido pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

**Tabela 2 - Valores médios das amostras**

TRAÇO	MÉDIA DOS VALORES INDIVIDUAIS (%)
0	12,55
6	10,81
8	13,01
10	12,81

Fonte: AUTORES.



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES.

### 6.1.3 Resistência à compressão

Conforme é orientado pela NBR 8492 (ABNT, 2012), os valores individuais relacionados a resistência à compressão de cada amostra dos quatro traços distintos são expressos em megapascals (MPa), tais quais os valores são atingidos dividindo a carga máxima alcançada através do experimento, pela área de contato da face de trabalho conforme ilustrado pela Equação 2.

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

onde:

$f_t$  – é a resistência à compressão simples, expressa em Mega Pascal (MPa);

$F$  – é a carga de ruptura do corpo de prova, expressa em Newtons (N);

$S$  – é a área de aplicação da carga, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

Se necessário, considera-se 1 MPa = 10 Kgf/cm<sup>2</sup>

Avaliando os parâmetros de aceitação e rejeição prescritos pela NBR 8491 (ABNT, 2012), os valores médios resultantes dos ensaios de resistência à compressão não pode apresentar valores menores que 2,0 MPa e resultados individuais inferiores a 1,7 MPa, caso mais da metade das amostras obtenham valores individuais inferiores aos estabelecidos pela norma, o lote deve ser descartado, sendo essa uma recomendação de extrema importância da norma citada anteriormente.

Após obter os resultados dos valores individuais, realizou-se o cálculo da média de resistência de cada traço para verificação. Segundo o determinado pela NBR 8491

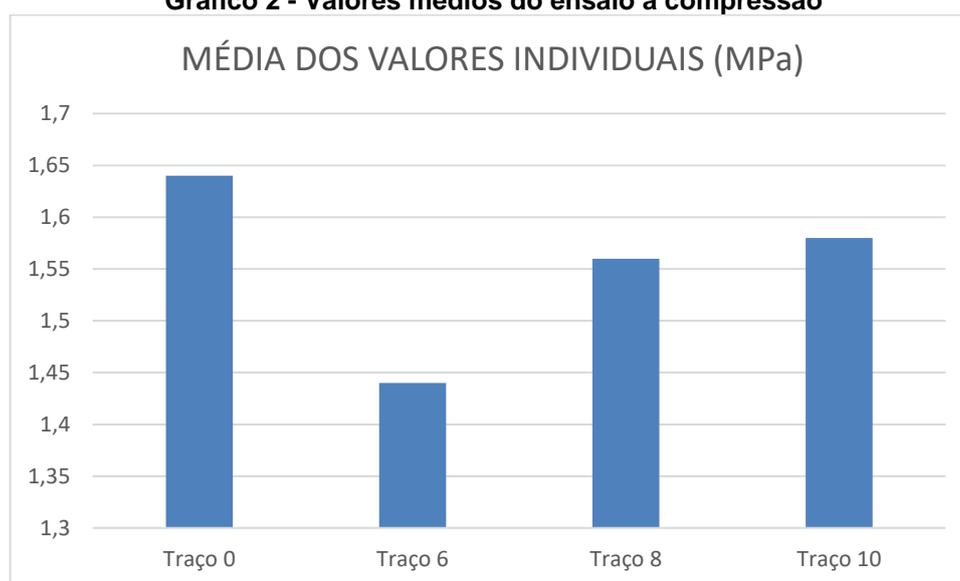
(ABNT, 2012), a média dos resultados de resistência à compressão necessitam ser superiores a 2,0 MPa. Referente aos valores médios, este estudo não obteve resultados satisfatórios visto que todos os traços atingiram valores inferiores a 2,0 Mpa (Tabela 3 e Gráfico 2).

**Tabela 3 - Valores médios do ensaio à compressão**

TRAÇO	MÉDIA DOS VALORES INDIVIDUAIS (MPa)
0	1,64
6	1,44
8	1,56
10	1,58

Fonte: AUTORES.

**Gráfico 2 - Valores médios do ensaio à compressão**



Fonte: PRÓPRIOS AUTORES.

Com todos os resultados obtidos, observa-se que a adição de resíduo não apresentou resultados positivos perante a resistência à compressão, havendo um declínio conforme o aumento da proporção do resíduo, sendo todos inferiores ao traço de referência, o qual não tem em sua composição nenhum tipo de resíduo e cujo a maioria dos valores individuais atendem as normativas exigidas.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo proposto foi executado dentro das conformidades tanto da norma quanto as orientações do processo executivo.

As dimensões dos objetos em estudo estão de acordo com o que é pedido pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Os ensaios de absorção de umidade foram realizados no padrão normativo, sendo possível encontrar valores médios e individuais aceitos para os quatro corpos de prova, cumprindo com as solicitações prescritas pela NBR 8491 (ABNT, 2012).

Em comparação com o tijolo ecológico convencional, os resultados obtidos com as amostras com substituição parcial do cimento Portland por cinzas do bagaço da cana-

de-açúcar com cavaco de eucalipto não demonstraram valores médios satisfatórios, os quais não atendem a NBR 8491 (ABNT, 2012). A média mínima prevista de acordo com a norma citada anteriormente é de 2,0 MPa para valores médios e de 1,7 MPa para valores individuais, sendo que a maioria dos corpos de prova do traço referência atendem aos valores individuais mínimos exigidos.

O objetivo do trabalho de analisar e estudar de forma comparativa foi satisfatório, uma vez que a necessidade de encontrar métodos sustentáveis na construção civil é cada vez mais requisitado.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, M.C. **Avaliação da incorporação de resíduo de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar em tijolo solo-cimento**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/disserta%C3%A7%C3%A3o-completa.pdf>. Acesso em: 04 dez. de 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. NBR 10833. Rio de Janeiro, 2013. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais pozolânicos**. NBR 12653. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia**. NBR 13529. Rio de Janeiro, 2013. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio**. NBR 8492. Rio de Janeiro, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo de solo-cimento - Requisitos**. NBR 8491. Rio de Janeiro, 2012.

BARROSO, T. R. **Estudo da atividade pozolânica e da aplicação em concreto de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar com diferentes características físico-químicas**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Civil, Universidade do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/Tha%C3%ADs-Ribeiro-Barroso.pdf>. Acesso em: 09 set. 2018.

BOFF, Leonardo. **Sustentabilidade: O que é - O que não é**. Petrópolis: Vozes, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt->

BR&lr=&id=px46DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=sustentabilidade&ots=bDtjpc9oe&sig=39don1-YbbM3PyKynRxj0XUjcyA#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 06 nov. 2018.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº307**, de 5 de julho de 2002. Gestão de Resíduos e Produtos Perigosos. Publicado no D.O.U. de 17 de julho de 2002.

BORTOLETTO, M. M. F.; CARNEIRO, A. A.; SOUSA, A. O.; FERNANDES, L. C.; NAVES, L.D.; NOGUEIRA, M. M.; PINTO, C. O. **Confecção de concreto utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo**. Universidade de Uberaba, Minas Gerais, 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/biochemistryproceedings/8entec/007.pdf>. Acesso em: 08 de abr. 2019.

CERATTI, J. A. P. **Estudo do Comportamento a Fadiga de Solos Estabilizados com Cimento para Utilização em Pavimentos**. Tese (Doutorado), Rio de Janeiro, 1993. Disponível em: [file:///C:/Users/User/Downloads/Jorge%20Augusto%20Pereira%20Ceratti\\_D.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Jorge%20Augusto%20Pereira%20Ceratti_D.pdf). Acesso em: 27 nov. 2018.

CORDEIRO, Cristine Ribeiro; MACHADO, Vanessa Caires. **Sustentabilidade na fabricação do tijolo solo-cimento: estudo comparativo com blocos convencionais**. 2017. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Aparecida de Goiânia, 2017. Disponível em: [http://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/140/3/tcc\\_Cristine%20Cordeiro\\_Vanessa%20Machado.pdf](http://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/140/3/tcc_Cristine%20Cordeiro_Vanessa%20Machado.pdf). Acesso em: 14 nov. 2018.

CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. **Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. Cement & Concrete Composites**, v.30, p.410-418, 2008.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na Construção Civil**. 2009. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://especializacaocivil.demc.ufmg.br/trabalhos/pg1/Sustentabilidade%20na%20Construcao%20Civil.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2018.

DESPERDÍCIOS na construção civil: impactos no meio ambiente. **Construct**, Minas Gerais, 20 set. 2018. Disponível em: <https://constructapp.io/pt/desperdicio-na-construcao-civil-impactos-no-meio-ambiente/>. Acesso em: 8 nov. 2018.

FERREIRA, L.F.R. **Biodegradação de vinhaça proveniente do processo industrial de cana-de-açúcar por fungos**. Piracicaba, Tese (Doutorado) – Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2009.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/Digital.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2018.

LÊDO, Samantha. O Conceito de Construção Sustentável na Engenharia Civil. **Revista da Sustentabilidade**, 30 jun. 2015. Disponível em:

<https://revistadasustentabilidade.wordpress.com/2015/06/30/o-conceito-de-construcao-sustentavel-dentro-da-engenharia-civil/>. Acesso em: 25 set. 2018.

LIMA, F. L. S. Como Montar uma Fábrica de Tijolos Ecológicos. **Ideias de Negócios**, SEBRAE, p. 1-2, 2016. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-tijolos-ecologicos,ce387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: 14 nov. 2018.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 107 f. Dissertação (Pós-Graduação) – Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia de Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp127154.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2018.

LOPES, Michele. Sistemas construtivos sustentáveis: opções modernas e cada vez mais aplicadas. **TEM Sustentável**, São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.temsustentavel.com.br/sistemas-construtivos-sustentaveis-opcoes/>. Acesso em: 26 set. 2018.

LOPES, Wilza Gomes Reis. **Solo-cimento reforçado com bambu**: características físico-mecânicas. 2002. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: [http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257285/1/Lopes\\_WilzaGomesReis\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257285/1/Lopes_WilzaGomesReis_D.pdf). Acesso em: 27 nov. 2018.

MACÊDO, Mirtes Maria de. **Solos modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos**. 2004. 289 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004. Disponível em: [https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5694/1/arquivo6354\\_1.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5694/1/arquivo6354_1.pdf). Acesso em: 27 nov. 2018.

MERCADO, M.C. **Solo-cimento: alguns aspectos referentes à sua produção e utilização em estudo de caso**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MIELI, Priscilla Henriques. **Avaliação do Tijolo Modular de Solo-Cimento como Material na Construção Civil**. 2009. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003721.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2018.

OLIVEIRA, E.F.B.; BARROS, S.S.U. **Resíduos e aspectos sustentáveis da cana-de-açúcar**. Dissertação (Pós-Graduação) – Curso de Gestão Ambiental, Centro Universitário da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, 2017. Disponível em: [https://www.unigran.br/ciencias\\_exatas/conteudo/ed11/artigos/04.pdf](https://www.unigran.br/ciencias_exatas/conteudo/ed11/artigos/04.pdf). Acesso em: 11 abr. 2019.

PAULA, Marcos O. de *et al.* Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia**

**Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p.353-357, jan. 2009. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/disserta%C3%A7%C3%A3o-completa.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2018.

PISANI, M. A. J. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solocimento**. São Paulo, 2002.

RAMOS, T., MATOS, A. M., COUTINHO, J. S. **Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion**. LABEST-FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal b FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007563>. Acesso em: 04 abr. 2019.

SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva. **Utilização de solo-cimento plástico em estacas escavadas com trado mecânico em Ilha Solteira - SP**. 2000. 206 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Departamento de Construções Rurais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SEGANTINI, A. A. S.; ALCANTARA, M. A. M. Solo cimento e solo-cal. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios da ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. v. 2, p. 833.

TIJOLO solo-cimento. **ECOCASA**, São Paulo, 31 ago. 2014. Disponível em: <https://www.ecocasa.com.br/tijolo-solo-cimento>. Acesso em: 8 nov. 2018.

RAMOS, T., MATOS, A. M., COUTINHO, J. S. **Mortar with wood waste ash: Mechanical strength carbonation resistance and ASR expansion**. LABEST-FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal b FEUP – Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061813007563>. Acesso em: 4 abr. 2019.

VALVERDE, D. **Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável**. 2017. 103 f. TCC (Graduação) – Engenharia Civil, Escola de Engenharia de Lins, São Paulo, 2017.