

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola

**CARACTERIZAÇÃO DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-
CIMENTO COM CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR**

MATHEUS VIERO DA COSTA

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2018

CARACTERIZAÇÃO DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO- CIMENTO COM CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE- AÇÚCAR

MATHEUS VIERO DA COSTA
Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. RODRIGO APARECIDO JORDAN

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C838c Costa, Matheus Viero Da

CARACTERIZAÇÃO DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO
COM CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR / Matheus Viero Da
Costa -- Dourados: UFGD, 2018.

53f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Rodrigo Aparecido Jordan

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Ciências
Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Reuso de materiais. 2. construção ecológica. 3. reciclagem. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

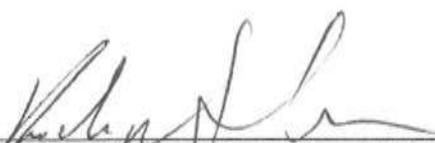
©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**CARACTERIZAÇÃO DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO COM CINZA DO
BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**
por

Matheus Viero da Costa

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 20/09/2018.



Prof. Dr. Rodrigo Aparecido Jordan – UFGD



Prof. Dr. Rodrigo Couto Santos – UFGD



Prof. Dr. Alfredo Petruski – Unioeste

*Dedico esta dissertação aos meus pais
Eder Loubet da Costa
Jalva Jacques Viero da Costa
e a minha esposa
Mayara Lopes Paredes*

AGRADECIMENTOS

À UFGD, pela oportunidade em fazer o mestrado em Engenharia Agrícola.

Ao professor Rodrigo Aparecido Jordan pela orientação e confiança.

Aos professores Rodrigo Couto Santos, Daniele Menezes, Sidiclei Formagini, Maria Aparecida Garcia Tommaselli Chuba Machado pelo auxílio prestado e sugestões feitas no trabalho.

A empresa MECFOR, por auxiliar na elaboração dos ensaios realizados em laboratório.

A minha esposa Mayara, por acreditar e me apoiar sempre e entender meus momentos de ausência.

Aos meus pais Eder Loubet e Jalva Viero pela educação que me deram e apoio prestado.

Aos meus amigos Gismery Monteiro e também aos demais que auxiliaram nos percalços do trabalho.

A todos que contribuíram de forma direta e indireta para que este trabalho fosse feito.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Meio ambiente, sustentabilidade e impactos ambientais	3
2.2 A natureza dos solos	4
2.2.1 Latossolos.....	4
2.3 Características dos solos	5
2.3.1 Forma das partículas do solo.....	5
2.3.2 Granulometria e tamanho das partículas	5
2.4 Estrutura dos solos	6
2.4.1 Solos coesivos	6
2.4.2 Solos não coesivos	7
2.5 Detalhes da descrição dos solos.....	7
2.6 Argilominerais	9
2.7 Estabilização de solos	11
2.7.1 Estabilização granulométrica	11
2.7.2 Estabilização química.....	11
2.8 Solo-Cimento	11
2.8.1 Uso e aplicação do solo-cimento.....	12
2.8.2 Composição do solo-cimento	14
2.8.3 Vantagens do uso dos tijolos solo-cimento	14
2.8.4 Dosagem do solo-cimento.....	15
2.8.5 Traços de solo-cimento	17
2.8.6 Tipos de tijolos de solo-cimento	18
2.8.7 Parâmetros normativos dos tijolos de solo-cimento.....	20
2.9 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)	22
2.9.1 Materiais pozzolânicos.....	23
2.9.2 Características da CBC não processadas e processadas.....	23
2.9.3 Utilização da CBC nos materiais	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 Solos.....	29
3.2 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)	32
3.3 Traços utilizados	35
3.4 Confecção dos tijolos modulares de solo-cimento.....	36

3.5	Métodos de cura utilizados	37
3.6	Ensaio realizado.....	38
3.6.1	Ensaio de resistência à compressão simples	38
3.6.2	Ensaio de absorção de água.....	39
3.7	Análise estatística	40
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.	CONCLUSÕES	47
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Orientação dos tipos de solo (Rebello, 2008), intervalos de valores dos tamanhos de partículas (KNAPPETT E CRAIG, 2014).	6
Figura 2 - (a) Estrutura com grãos isolados; (b) Estrutura alveolar (DAS, 2007).	7
Figura 3 - Curvas granulométricas de diferentes tipos de solos, contínua ou bem graduada (curva A), descontínua (curva B) e uniforme ou mal graduada (curva C) (CAPUTO, 1996).	8
Figura 4 - Demonstração visual da graduação de solos arenosos e pedregulhos (CAPUTO, 1996).	8
Figura 5 - Minerais de argila, unidades básicas (KNAPPETT E CRAIG, 2014).	9
Figura 6 - Minerais de argila, (a) caolinita, (b) ilita, (c) montmorilonita (KNAPPETT E CRAIG, 2014).	10
Figura 7 - Estrutura da argila: (a) dispersa; (b) floculada (KNAPPETT E CRAIG, 2014).	10
Figura 8 - (a) Execução de parede monolítica (CAMPOS, 2007). (b) Residência Popular feita com tijolos de solo-cimento (NEVES e SALMAR, 2009).	14
Figura 9 - (a) Dimensões da caixa. (b) Medição da retração do solo (ABCP, 2000).	17
Figura 10 - Ensaio do bolo para verificação da umidade ideal.	18
Figura 11 - Tipos de tijolos de solo-cimento (MOTTA et al., 2014)	19
Figura 12 - Exemplo de prensa manual (a) e mecânica (b) (NEVES, 2011).	21
Figura 13 - Ilustração das dimensões dos tijolos de solo-cimento segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012a).	22
Figura 14 - Variedade de formas das partículas presentes na CBC (BAHURUDEEN e SANTHANAM, 2015).	24
Figura 15– Resistência das misturas ensaiadas com CBC a diferentes temperaturas de queima (BAHURUDEEN e SANTHANAM, 2015).	25
Figura 16 – Solos utilizados, solo A (a), solo B (b).	30

Figura 17 - Curva granulométrica da mistura AB.	32
Figura 18 - Materiais grosseiros retidos nas peneiras de abertura 4,8 mm e 2,36 mm.	33
Figura 19 - Curva granulométrica da CBC.	33
Figura 20 - Distribuição granulométrica visual da cinza utilizada.	34
Figura 21 - Realização da mistura do solo A com o solo B.	36
Figura 22 - Prensa de tijolos de solo-cimento marca ECOMAC.	37
Figura 23 - Tijolos recém-moldados iniciando o processo de cura.	37
Figura 24 - Medição dos tijolos com paquímetro.	38
Figura 25 - Tijolos capeados com pasta de cimento.	39
Figura 26 - Realização do ensaio de resistência à compressão simples.	39
Figura 27 - Tijolos em estufa de circulação forçada.	40
Figura 28 - Tijolos submersos para realização do ensaio de absorção de água.	40
Figura 29 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão simples.	44
Figura 30 - Valores médios dos ensaios de absorção simples.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações do solo-cimento na construção civil (Campos, 2007).	13
Tabela 2 - Normas utilizadas para análise e caracterização dos solos utilizados nas misturas de solo-cimento.	16
Tabela 3 - Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento produzidos no Brasil (PISANI, 2005).	19
Tabela 4 - Parâmetros de solo para execução de solo-cimento (ABCP,2000).	20
Tabela 5 - Normas relacionadas aos requisitos de desempenho dos tijolos de solo-cimento.	20
Tabela 6 - Características químicas da cinza (BAHURUDEEN e SANTHANAM, 2015).	24
Tabela 7 - Composição dos solos utilizados.	29
Tabela 8 - Valores considerados ideais e valores dos solos A e B.	30
Tabela 9 - Valores considerados ideais e valores da mistura.	31
Tabela 10 - Composição da mistura AB.	31
Tabela 11 - Composição granulométrica da cinza	34
Tabela 12 - Composição e traços utilizados na pesquisa.	35
Tabela 13 - Análise estatística dos valores de resistência à compressão	42
Tabela 14 - Resultado da análise estatística dos valores de absorção simples	45

RESUMO

COSTA, Matheus Viero da. **CARACTERIZAÇÃO DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO COM CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

O objetivo do presente trabalho foi analisar a viabilidade da substituição parcial de solo por cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) “in natura”, ou seja, sem nenhum tipo de tratamento na composição de tijolos vazados de solo-cimento. Para a confecção dos tijolos foi utilizada a mistura de dois tipos de latossolo, um predominantemente argiloso e outro predominantemente arenoso. A cinza foi coletada na usina Nova América na cidade de Caarapó-MS. Foram analisadas duas porcentagens de substituição parcial de solo por cinza (30 e 40%), bem como, dois tipos diferentes de cura nos tijolos, em ambiente protegido e ao ar livre. A substituição de solo por CBC sem tratamento resultou em uma redução na resistência dos tijolos, sendo esta resistência ainda menor nos tijolos que foram curados ao ar livre. A diferença de absorção de água entre os tijolos com e sem CBC, apesar de ter sido superior nos tijolos com cinza em relação aos tijolos sem CBC, não foi considerada significativa.

Palavras chave: Reuso de materiais, construção ecológica, reciclagem.

ABSTRACT

COSTA, Matheus Viero da. **CARACTERIZAÇÃO DE TIJOLOS VAZADOS DE SOLO-CIMENTO COM CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR**. 2018. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2018.

The objective of the present work was analyze the viability of partial replacement of soil by sugarcane bagasse ash (SBA) "in natura", in other words, without any type of treatment in the composition of cast soil-cement bricks. For the bricks production, a mixture of two types of latosol (oxisol) was used, one being predominantly clayey and the other predominantly sandy. The ash was collected at the Nova América mill in the city of Caarapó-MS. Two percentages of partial replacement of soil by ash (30 and 40%) were analyzed, as well as two different types of brick curing, at a protected environment and in the open air. Soil replacement by untreated SBA resulted in a reduction in brick strength, and this resistance was even lower in bricks that were cured in the open air. The difference in water absorption between the bricks with and without SBA, although it was higher in gray bricks than in bricks without SBA, wasn't considered significant.

Key-words: Reuse of materials, ecological construction, recycling.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana, e também o primeiro no mundo na produção de açúcar e etanol (Gilio e Castro, 2016). O estado do Mato Grosso do Sul vem aumentando ano a ano sua produção, estima-se que na safra 2017/2018 a produção de cana-de-açúcar no estado será de aproximadamente 50 mil ton (CONAB, 2017).

O bagaço é um resíduo gerado pelo processamento da cana, sendo posteriormente queimado em caldeiras como combustível para a cogeração de energia e, ao final, são produzidas as cinzas residuais do bagaço da cana (CBC). Essas cinzas podem ser utilizadas em lavouras de cana como adubação, mesmo sendo um material com poucos nutrientes (LIMA et al., 2011).

Entretanto, o volume de cinza gerado não é utilizado como um todo, sendo o excedente descartado no meio ambiente. Nesse contexto, a indústria da construção civil torna-se um meio para o aproveitamento deste resíduo, utilizando-o como substituição parcial do cimento em concretos e argamassas comumente produzidos no meio urbano (BESSA, 2011).

Segundo Cortez, Magalhães e Happi (1992), a quantidade de bagaço varia conforme o teor de fibra da cana, e este valor está na faixa de 260 quilos de bagaço por tonelada de cana processada, sendo que, para cada tonelada de bagaço incinerado são gerados aproximadamente 25 quilos de cinzas.

A cinza proveniente das caldeiras das usinas de cana é um material que possui atividade pozzolânica e pode ser utilizada como substituta parcial do cimento em argamassas sem prejuízo da resistência (PAULA, 2009). Esta mesma cinza também pode ser utilizada como substituta do agregado miúdo em argamassas (ALMEIDA, 2013).

Tem-se atualmente na indústria em geral uma crescente preocupação com a escassez dos recursos renováveis, busca pela redução da poluição, diminuição na geração de resíduos, reaproveitamento dos resíduos gerados e a procura por novas tecnologias que sejam ecologicamente corretas.

Diante deste cenário, a indústria da construção civil que é uma das grandes consumidoras de recursos renováveis, responsável por uma grande parcela da poluição gerada, além de ser uma das principais geradoras de resíduos, se perfaz como ótimo campo para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a novas tecnologias que contribuam para mitigar a degradação do meio ambiente.

Isso pode ser feito através do reaproveitamento de materiais que seriam simplesmente descartados, reutilizando-os na composição de materiais comumente utilizados no dia-a-dia

desta indústria, como tijolos e concretos e, também reduzindo o uso de componentes que gerem poluição em seu processo de produção, como o cimento que gera CO₂, bem como reduzindo a quantidade de materiais empregados como, por exemplo, a areia que é retirada de leitos de rios, causando danos muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente.

Face a possibilidade de substituição do agregado miúdo (areia) em argamassas por cinza de bagaço de cana (CBC), entende-se que este material possa ser utilizado como substituto parcial ou como complemento em solos muito argilosos ou que necessitem da adição deste tipo de material, de forma a apresentar uma alternativa à produção de tijolos para a construção de residências em locais que não disponham de solos com características satisfatórias para a confecção deste tipo de material.

Assim, o objetivo desta pesquisa foi analisar a incorporação de cinzas em tijolos de solo-cimento, visando como produto final um material com propriedades que atendam aos preceitos normativos e que possam ser utilizados na prática para a edificação de moradias, contribuindo para a sustentabilidade no meio construtivo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Meio ambiente, sustentabilidade e impactos ambientais

Nos dias de hoje é de suma importância à busca por construções e materiais mais sustentáveis, pois os recursos do planeta são finitos e o constante crescimento populacional bem como de suas atividades tem gerado grandes danos ao meio ambiente. Neste sentido, não se pode afirmar que existem construções que não gerem impactos e danos ambientais, o que existe são materiais e técnicas que buscam de alguma forma reduzir os danos causados (PISANI, 2005).

A emissão de CO₂ na atmosfera é um dos principais responsáveis pelo efeito estufa, e hoje de 90 a 95% da emissão de CO₂ no processo de obtenção do cimento se origina na produção do clínquer, que é a matéria prima principal do cimento. Além de emitir 610 kg de dióxido de carbono para cada tonelada de cimento produzida, o processo pelo qual o clínquer é obtido é responsável por 80% do consumo de energia do processo de produção do cimento. Estima-se que a produção do cimento é responsável por 5% de todo CO₂ presente na atmosfera, e o agravante é que até o ano de 2050 a demanda por cimento irá mais que dobrar (SAMPAIO, 2016).

Outro setor que gera consideráveis impactos no meio ambiente é a indústria da cerâmica, nela estão inclusas as olarias, que fabricam os tijolos de argila comumente utilizados na maior parte das construções. Os principais danos causados por esse setor são o consumo de energia, muitas vezes de fontes não renováveis, assim como os reflexos causados pelos gases expelidos na atmosfera durante o processo de queima ou cozimento desses tijolos.

De acordo com Nunes (2012), os compostos gasosos que são liberados durante a queima e a secagem derivam-se principalmente dos compostos existentes nas matérias-primas, entretanto, os combustíveis utilizados que são principalmente óleo e lenha, também contribuem de forma significativa para a emissão dos poluentes gasosos.

Pode-se mencionar, igualmente, que a atividade de extração da areia utilizada na construção civil é uma atividade nociva ao meio ambiente. Segundo Pereira Junior e Lima (2018), 70% da produção brasileira de areia é proveniente de leitos de rios. Entre os impactos causados por essa atividade Lelles et al. (2005), destacam a necessidade de remoção da vegetação existente no local, seja ela para a abertura de vias para chegada do maquinário até o local da extração ou para a extração do material em si. Outro fator negativo de acordo com os

autores é a alteração da calha original dos cursos d'água e consequente intervenção na velocidade e direção dos cursos d'água.

Ao nos depararmos com este cenário, percebemos que diversos impactos ambientais são causados pelas variadas atividades dantes citadas, tornando imperiosa a redução no uso desses materiais, bem como, a pesquisa de materiais com características semelhantes que possam exercer o mesmo papel daqueles a fim de se amenizar os impactos gerados, através da reutilização de materiais que seriam descartados.

2.2 A natureza dos solos

Solos são formados através de processos físicos e químicos, dentre os processos físicos estão a erosão pela ação do vento, de geleiras ou da água, e os processos químicos são conjuntos de reações químicas que alteram os minerais que compõem as rochas. O intemperismo químico causa a formação de grupos de partículas cristalinas conhecidas como minerais de argila ou simplesmente argilas (KNAPPETT E CRAIG, 2014).

2.2.1 Latossolos

De acordo com Santos e Zaroni (2018), tratam-se de solos de intemperização intensa, sendo definidos pelo sistema brasileiro de classificação de solos, pela presença de horizonte diagnóstico latossólico e características como argilas com predominância de óxidos de ferro, silício e alumínio, argilas de baixa atividade, fortemente ácidos e baixa saturação de bases. São os solos de maior ocorrência no Brasil, ocorrendo mais frequentemente em regiões equatoriais e tropicais.

No Brasil são reconhecidos sete tipos de Latossolos, baseado na cor, nos teores de ferro do ataque sulfúrico entre outros critérios: Roxo (LR), Vermelho Escuro (LE), Vermelho Amarelo (LV), Bruno (LB), Amarelo (LA), Ferrífero (LF), Vermelho-Amarelo variação Una (LU) (CAMARGO et al., 1987).

Na região da cidade de Dourados-MS, predomina a presença e Latossolo Vermelho-Escuro, que são solos minerais, profundos, bem acentuadamente drenados de coloração avermelhada, e textura que vai de franco arenosa a muito argilosa (KER, 1997).

2.3 Características dos solos

Devido à facilidade de obtenção, abundância e disponibilidade de manuseio, os solos são a matéria prima principal de diversos tipos de aplicações, dentre elas: tijolos de solo-cimento, paredes monolíticas, fundações e base para pavimentos (GRANDE, 2003).

Destaca-se que estes materiais possuem características distintas que variam de acordo com sua composição química e mineralógica. De acordo com Grande (2003) o comportamento de um solo depende de sua forma, granulometria, tamanho, quantidade, e distribuição dos grãos, razão pela qual o conhecimento dessas características torna-se de suma importância para a correta utilização destes materiais em suas diversas aplicações.

2.3.1 Forma das partículas do solo

A forma das partículas das massas de solos é um importante atributo, pois esta tem influência significativa nas propriedades físicas deste material, o que de acordo com DAS (2007), pode ser dividida em:

- Volumosa;
- Laminar;
- Fibrilar;

Já as partículas volumosas podem ser classificadas como:

- Angular;
- Subangular;
- Subarredondada;
- Arredondada;

Assim, a forma dessas partículas exerce influência em parâmetros como o índice de vazios, resistência ao cisalhamento, compressibilidade, entre outros (DAS, 2007).

2.3.2 Granulometria e tamanho das partículas

Segundo REBELLO (2008), a variabilidade nas dimensões das partículas dos solos atribui a estas inúmeras características que constituem suas respectivas propriedades. Ainda segundo o autor, os tipos de solos podem ser classificados em função do diâmetro de suas

partículas. A Figura 1 demonstra a orientação dos tipos de solo em ordem decrescente de acordo com o tamanho de suas partículas e também as faixas granulométricas dos grãos dos solos.

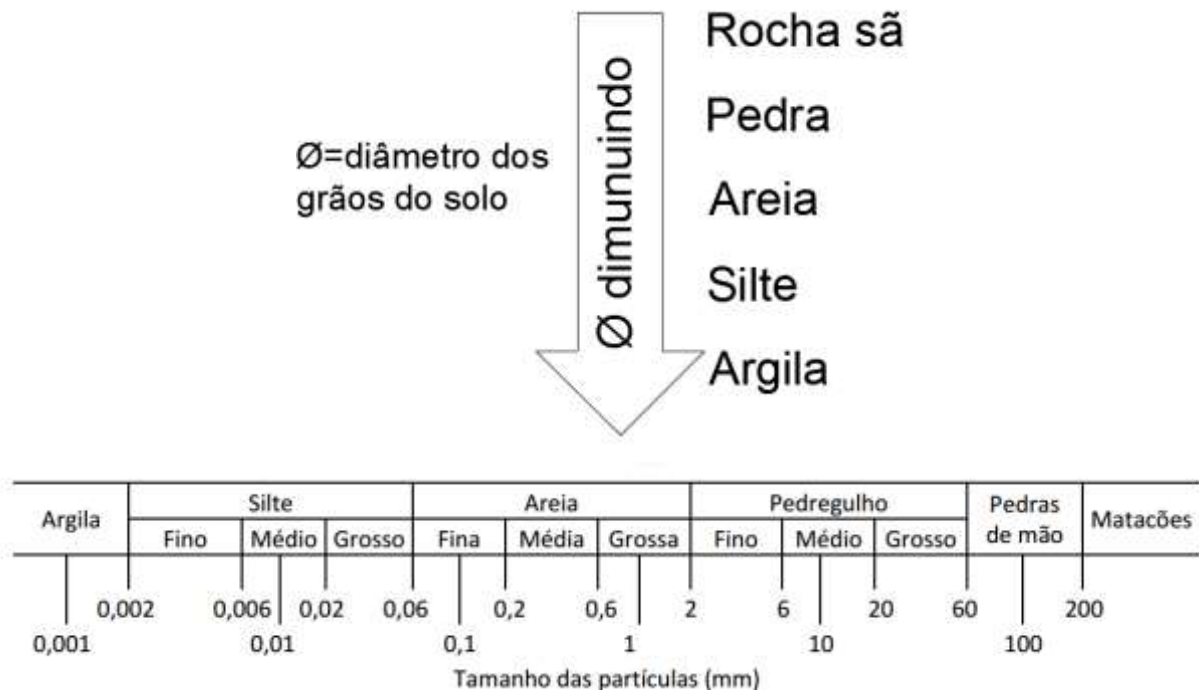


Figura 1 - Orientação dos tipos de solo (Rebello, 2008), intervalos de valores dos tamanhos de partículas (KNAPPETT E CRAIG, 2014).

2.4 Estrutura dos solos

De acordo com Das (2007), a estrutura do solo é definida como o arranjo geométrico de partículas do solo, umas em relação às outras e, em geral os solos podem ser classificados em dois grupos, os coesivos e os não coesivos.

2.4.1 Solos coesivos

São os solos com grande presença de finos, em geral argilosos. Segundo Knappett e Craig (2014), coesão é o termo usado para descrever a resistência de uma amostra de argila quando esta não está confinada, o que se deve à pressão negativa na água que preenche os espaços vazios, de tamanho muito pequeno, entre as partículas. Ainda de acordo com o autor, a coesão pode ser obtida pela cimentação entre as partículas de solo.

Rebello (2008) diz que as ligações na argila se dão por hidrogênio como a caulinita, por exemplo, ou oxigênio, sendo a ligação por hidrogênio considerada mais forte. Devido a essa característica de ligação molecular entre as partículas, as argilas são denominadas como coesivas.

2.4.2 Solos não coesivos

Trata-se dos solos granulares, como os arenosos. De acordo com Das (2007), as estruturas em solos não coesivos podem ser divididas em duas categorias: grãos isolados e alveolares. Nas estruturas de grãos isolados, as partículas do solo estão arranjadas em posições estáveis, estando cada uma em contato com a sua adjacente, deste modo forma e distribuição de tamanho das partículas bem como sua posição relativa influenciam diretamente sobre a densidade do agrupamento, sendo assim possível existir um grande intervalo de índice de vazios.

Solos com estrutura alveolar, materiais relativamente finos como areias e siltes formam pequenos arcos com correntes de partículas, de modo a constituir grandes índices de vazios (Figura 2). Este tipo de solo pode suportar cargas estáticas moderadas, porém quando submetidos às cargas e elevadas e/ou abruptos, levam a estrutura a ruptura, resultando em recalques excessivos (DAS, 2007).

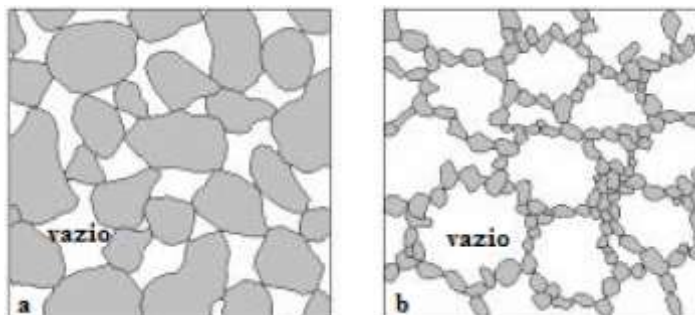


Figura 2 - (a) Estrutura com grãos isolados; (b) Estrutura alveolar (DAS, 2007).

2.5 Detalhes da descrição dos solos

Um solo é basicamente considerado como areia ou pedregulho se, depois de removidos quaisquer pedras ou matacões, mais de 65% do material restante for do tamanho de areia ou de pedregulhos e, basicamente considerado silte ou argila, ou seja, solos finos, se depois de removidos quaisquer matacões ou pedras, mais de 35% do material for do tamanho

2.6 Argilominerais

De acordo com Das (2007), argilominerais são silicatos complexos de alumínio compostos de duas unidades básicas, octaedro de alumina e tetraedro de sílica (Figura 5). Cada tetraedro consiste em quatro átomos de oxigênio em volta de um átomo de silício e as unidades octaédricas consistem em seis hidroxilos em torno do átomo de alumínio.

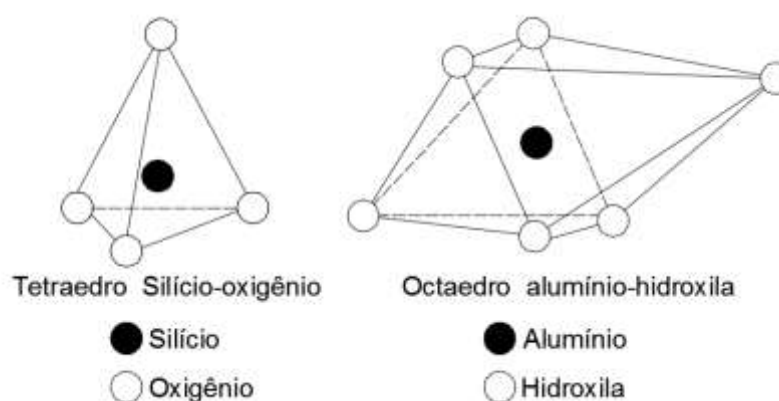


Figura 5 - Minerais de argila, unidades básicas (KNAPPETT E CRAIG, 2014).

Dentre os três minerais importantes de argila a caulinita, consiste em uma estrutura baseada em uma única lâmina de sílica, combinada somente com uma lâmina de gipsita em uma rede cristalina 1:1, essas laminas combinadas são unidas entre si por uma ligação relativamente forte, por meio de ligações de hidrogênio. A illita, consiste em uma lâmina de gipsita ligada a outras duas laminas de sílica, suas camadas são ligadas por íons de potássio. A montmorilonita tem estrutura similar à da illita, a diferença é que os íons de potássio não estão presentes, existindo uma grande quantidade de água no espaço entre as camadas, isso resulta em uma ligação muito fraca entre as lâminas (Figura 6) (KNAPPETT E CRAIG, 2014; DAS, 2007).

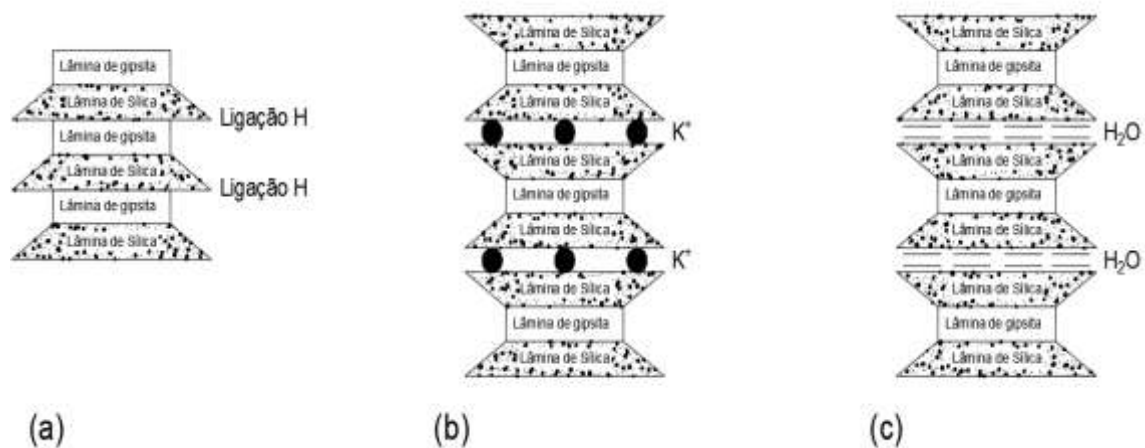


Figura 6 - Minerais de argila, (a) caolinita, (b) ilita, (c) montmorilonita (KNAPPETT E CRAIG, 2014).

Entre as partículas adjacentes de argila existem forças de repulsão e atração, a repulsão ocorre entre as cargas idênticas de camadas duplas e depende de suas características, e a atração acontece devido a forças fracas de van der Waals, estas são independentes das características da camada dupla e diminuem conforme aumenta a distância entre as partículas (KNAPPETT E CRAIG, 2014).

De acordo com Knappet e Craig (2014), quando há repulsão entre as partículas de argila, estas tendem a assumir uma orientação face a face, chamada de estrutura dispersa, e quando há atração esta orientação tende a ser aresta a aresta ou aresta a face, conhecida como estrutura floculada (Figura 7).



Figura 7 - Estrutura da argila: (a) dispersa; (b) floculada (KNAPPET E CRAIG, 2014).

É fato que a presença de argilominerais em um agregado de solo exerce grande influência nas propriedades de engenharia do solo, como a compressibilidade. Do ponto de vista prático, quando o teor de argila é maior ou igual a 50%, as partículas de areia e silte presentes flutuam em uma matriz de argila, e os minerais de argila determinam de forma fundamental as propriedades de engenharia do solo (DAS, 2007).

2.7 Estabilização de solos

Segundo Guedes (2013), estabilizar um solo é utilizar um processo de qualquer natureza química (adição de cal, betume, cimento, etc.), física (estabilização granulométrica), físico-química (uso de materiais compósitos, por exemplo, solo-cimento-fibra) ou mecânica (compactação), a fim de tornar este solo estável para os limites de sua utilização e também fazer com que esta estabilidade permaneça sob a ação das cargas exteriores e ações climáticas.

2.7.1 Estabilização granulométrica

Consiste em alterar as propriedades de um determinado solo através da adição ou retirada de suas partículas, objetivando a obtenção de um material adequado para cada aplicação em específico (ARRIVABENI, 2017).

De acordo com Almeida et. al. (2010), a alternativa mais simples para corrigir a granulometria de um solo é misturá-lo em sua forma natural com outro que também, isoladamente, não satisfaça as exigências para cuja finalidade será utilizado, produzindo assim um material que atenda as exigências sob os preceitos granulométricos, de plasticidade e mecânico.

2.7.2 Estabilização química

A estabilização química de solos consiste na mistura destes com materiais com propriedades aglomerantes ou cimentícias, também chamados de ligantes. Através desta mistura ocorrem interações físico-químicas entre as partículas, os ligantes e a água, resultando em um material com um comportamento mecânico diferente do original (CASALEIRO, 2014).

2.8 Solo-Cimento

Destaca-se inicialmente que, por se tratar de um material abundante e de fácil obtenção na natureza, o solo, vem sendo utilizado em construções desde os primórdios da humanidade.

De acordo com a ABNT (2012c) na norma NBR 12023, solo-cimento é o produto endurecido, proveniente da cura de uma mistura compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas por meio de dosagem executada corretamente.

Segundo Lima (2010), o solo-cimento foi utilizado pela primeira vez nos Estados Unidos no ano de 1915, na pavimentação de uma rua feita com a mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland.

Em 1932, Charles Moorefields realizou importantes ensaios com solo-cimento no South Carolina State Highway Department. Miles Catton, por sua vez, realizou ensaios com solo-cimento nos laboratórios da Portland Cement Association PCA, estudo este que definiu propriedades e critérios básicos de dosagem das misturas (TAVEIRA, 1987).

No ano de 1941, o engenheiro Elbert Hubbel, de Dakota nos Estados Unidos, foi convidado pelo Bureau of Standards para estudar as propriedades estruturais e térmicas de vários materiais para construção, tendo ele comprovado o excelente desempenho da mistura em suas análises (TAVEIRA, 1987).

No mesmo ano, no Brasil, toda a pavimentação do aeroporto de Petrolina-PE foi feita com solo-cimento. Já no ano de 1948, esta técnica passou a ser utilizada para construção de residências, com a edificação de duas casas em uma fazenda na cidade de Petrópolis-RJ (SOUZA, 2006).

De acordo com Taveira (1987), o livro intitulado *The Rammed-Earth House*, publicado no ano de 1947, citava benefícios na aplicação do solo-cimento, no qual o autor relatou os resultados de duas grandes obras americanas, uma em Fort Washakie, onde foi utilizada uma máquina portátil hidráulica para prensagem dos blocos de solo-cimento e, outra um edifício de investigações da Universidade de Kansas, nesta os blocos foram compactados manualmente e extraídos dos moldes por um dispositivo mecânico.

De forma que, podemos citar que além da grande disponibilidade de solos, o fator econômico, em regiões mais afastadas onde a chegada de materiais é dificultosa e muitas vezes o transporte encarece o custo final, o uso de solo-cimento torna-se algo economicamente viável, atrativo e com um resultado final extremamente satisfatório.

2.8.1 Uso e aplicação do solo-cimento

A mistura de solo cimento é amplamente utilizada para diversos fins, por exemplo, bases para pavimentos rodoviários, tijolos de solo cimento e paredes monolíticas. Campos (2007), falou sobre as técnicas citadas:

- Tijolos ou blocos: Produzidos em prensas ou manualmente, não sendo necessária a sua queima;
- Paredes maciças: Trata-se de uma técnica similar a taipa de pilão. Nessa técnica o solo é lançado e compactado em camadas dentro de formas montadas no local onde o será executada a parede, o lançamento/compactação é feito no sentido vertical, formando painéis maciços sem juntas horizontais;
- Pavimentos: A compactação desta técnica também é realizada no local, geralmente em uma única camada, resultando no final em placas maciças totalmente apoiadas no chão.

Rocha e Rezende (2017), afirmam que a mistura de solo-cimento é bastante utilizada nas camadas de base de pavimentos asfálticos. Milani e Barboza (2016) realizaram análises físico-mecânicas de misturas de solo-cimento auto adensável para sua utilização em paredes monolíticas. Lima (2010) realizou análises para estudar a durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduos de granito. Em resumo, existem inúmeras aplicações para o solo-cimento (Tabela 1).

Tabela 1 - Aplicações do solo-cimento na construção civil (Campos, 2007).

Benfeitoria	Aplicação
Edificações	Fundação. Baldrame, sapata corrida ou parede maciça apoiada diretamente sobre o solo. Alvenaria, com tijolos e blocos ou então em paredes maciças. Piso e contra-piso, pavimentação.
Paisagismo	Piso e contra-piso de passeios e calçadas. Pátios e terreiros
Pavimentação	Base e sub-base de ruas e estradas
Contenção de encostas	Muro de arrimo com solo-cimento ensacado
Contenção de córregos	Revestimento dos taludes e canais com solo-cimento ensacado ou em parede maciça
Pequenas barragens	Dique com solo-cimento ensacado
Cabeceiras de pontes, pontilhões, bocas de galerias	Muro de arrimo com solo-cimento ensacado

A Figura 8 apresenta exemplos de paredes monolíticas e com tijolos de solo-cimento.



Figura 8 - (a) Execução de parede monolítica (CAMPOS, 2007). (b) Residência Popular feita com tijolos de solo-cimento (NEVES e SALMAR, 2009).

2.8.2 Composição do solo-cimento

O solo-cimento é composto basicamente da mistura de solo, água e cimento. Estudos recentes têm analisado a incorporação de materiais alternativos a essa mistura, como o resíduo de argamassa de assentamento e revestimento (LIMA, 2013), lodo de estação de tratamento de esgoto e resíduos da construção civil (MACHADO E ARAÚJO, 2014), areia descartada de fundição (LEONEL et al., 2017), co-produtos siderúrgicos (CASTRO et al., 2016), cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (VALENCIANO E FREIRE, 2004), entre outros.

Segundo Rodrigues e Holanda (2013), Machado e Araújo (2014) e Silva et al. (2014), os solos mais apropriados para a fabricação dos tijolos são os que possuem teor de areia entre 45 e 50%, quando não se dispõe de um solo com essas características, deve-se considerar a possibilidade de se misturar dois ou mais solos, ou mesmo a adição de areia grossa.

Na maioria das vezes os solos arenosos requerem menores quantidades de cimento em comparação aos argilosos e siltosos, cabe ressaltar que a presença de argila no solo é necessária para que a mistura quando umedecida e compactada apresente coesão suficiente para permitir a desmoldagem e o manuseio dos tijolos após a confecção. Existem solos que por si só não podem ser utilizados na fabricação dos tijolos, por não apresentarem os parâmetros necessários, neste caso pode-se misturar dois ou mais solos para que essa mistura se enquadre nas especificações (ABCP, 2000).

2.8.3 Vantagens do uso dos tijolos solo-cimento

Os tijolos de solo-cimento possuem algumas vantagens sobre os demais, além de serem considerados ecológicos, pois são produzidos por prensagem e não necessitam passar

pelo processo de queima, reduzindo assim a emissão de gases decorrente deste processo (Castro et al., 2016).

Segundo Segantini e Wada (2011), os tijolos de solo-cimento vão ao encontro do desenvolvimento sustentável, pois requerem baixo consumo de energia na extração de matéria prima, visto que os tijolos podem ser produzidos com o solo do próprio local da obra e também dispensam o processo de queima. Os autores ainda ressaltam que existe a racionalização do processo construtivo com o uso dos tijolos modulares, uma vez que estes permitem o uso das técnicas empregadas na execução de alvenaria estrutural, reduzindo o desperdício de materiais e consequentemente do entulho gerado. Este processo proporciona economia na mão-de-obra e materiais, elimina a necessidade de rasgos na alvenaria devido ao fato de as tubulações serem inseridas nos furos dos tijolos onde também são passados os eletrodutos da fiação elétrica, reduzem o uso de argamassa de assentamento e de regularização (reboco), além de oferecer melhor conforto térmico e acústico em comparação às alvenarias convencionais.

Os tijolos ecológicos trazem para a obra algo entre 20 e 40% de economia comparado a construção convencional, existe também uma redução de 30% no tempo de construção em comparação a alvenaria de tijolos de argila convencionais. Em relação à estrutura dos tijolos, os encaixes e pilares embutidos nos furos (os furos dos tijolos são grauteados em alguns pontos e é inserida armadura nos mesmos) proporcionam uma melhor distribuição das cargas sobre as paredes e ainda conferem uma economia de 50% em armaduras (FRAGA et al., 2016).

2.8.4 Dosagem do solo-cimento

Para que possua um desempenho satisfatório e não apresente patologias, a dosagem da mistura de solo-cimento deve respeitar alguns parâmetros, uma etapa muito importante é a escolha do solo que será utilizado. Segundo a ABCP (2000), a dosagem deve começar por uma sequência de ensaios do solo que será utilizado em laboratório (Tabela 2), caso não exista essa possibilidade a ABCP recomenda realizar o ensaio prático, conhecido como ensaio da caixa, para medir a retração do solo.

Tabela 2 - Normas utilizadas para análise e caracterização dos solos utilizados nas misturas de solo-cimento.

Descrição	Norma
Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização	NBR 6457:2016
Determinação da Massa Específica dos Grãos de Solos	NBR 6458:2016
Solo - Determinação do Limite de Liquidez	NBR 6459:2016
Solo - Determinação do Limite de Plasticidade	NBR 7180:2016
Solo - Análise Granulométrica	NBR 7181:2016

O ensaio prático (ensaio da caixa, Figura 9) para medir a retração do solo é bem simples e deve seguir os seguintes procedimentos (ABCP, 2000):

- Obter aproximadamente 4,5kg de solo, descartando-se os primeiros 60 cm da camada inicial, destorroar o solo e peneira-lo na peneira de abertura de malha 4,8 mm;
- Adicionar água gradativamente até que o solo adquira consistência semelhante à de argamassa utilizada em rebocos;
- Coloca-se o material em uma caixa de madeira com dimensões internas de 60 x 8,5 x 3,5 cm (Figura 9), a caixa deve ser previamente lubrificada, distribui-se o solo de forma uniforme por toda a caixa com uma colher de pedreiro e nivelando sua superfície com uma régua de madeira;
- Levanta-se a caixa através de uma das extremidades e deixa esta cair a uma altura aproximada de 7 cm por dez vezes, repetindo o mesmo procedimento na outra extremidade da caixa;
- A caixa com o solo deve ser guardada ao abrigo do sol, chuva e vento durante sete dias;
- Passados os 7 dias realiza-se a medição conforme demonstra a figura 6 no sentido do comprimento da caixa. Se a retração total não ultrapassar 2cm e não aparecerem trincas ou fissuras na amostra o solo pode ser considerado utilizável, caso contrário, pode ser misturado a outro tipo de solo ou adicionada areia até se obter uma mistura que atenda a essa especificação.

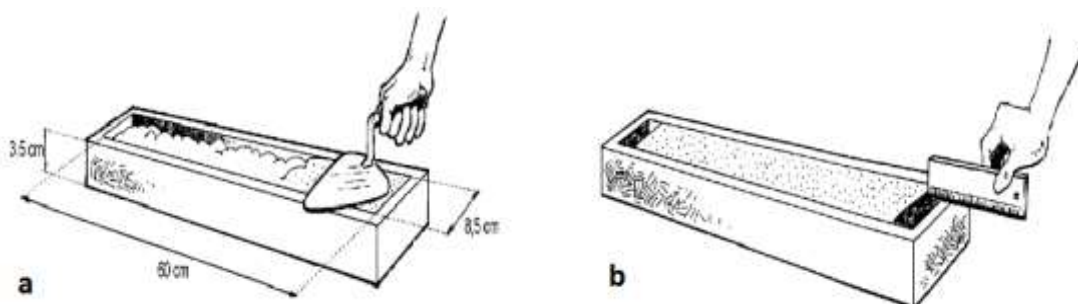


Figura 9 - (a) Dimensões da caixa. (b) Medição da retração do solo (ABCP, 2000).

De acordo com Taveira (1987) existem outros tipos de ensaio que são possíveis de realizar diretamente no local de extração do solo, dentre eles podemos citar o ensaio do bolo, ensaio de resistência seca e o ensaio do cordão. Todos esses ensaios são empíricos e podem ser facilmente executados “in loco”.

2.8.5 Traços de solo-cimento

Os traços adotados para as misturas de solo cimento são expressos em massa e indicam as quantidades de cimento e solo que serão utilizadas para o preparo. O traço volumétrico comumente utilizado e também o recomendado pela ABCP (2000) no boletim técnico BT-111 é o 1:10 (cimento:solo).

Segundo a ABCP (2004), a quantidade de cimento utilizada nos traços deve ser aquela que na menor quantidade possível, seja capaz de garantir à mistura a permanência de suas características melhoradas, estando estas dentro dos parâmetros normativos de resistência, absorção de água e durabilidade.

A quantidade de água utilizada varia conforme os resultados dos parâmetros do solo obtidos em laboratório ou em testes empíricos. Uma maneira simples e empírica de se determinar a quantidade ideal de água a ser utilizada é o teste do bolo (Figura 10). De acordo com Neves (2011), o teste deve seguir os procedimentos descritos a seguir:

- Primeiramente coloca-se uma porção da mistura de solo na palma da mão, essa porção deve ser comprimida com os dedos;
- Ao abrir a mão, o bolo formado deve apresentar o sinal dos dedos;
- Em seguida deve-se deixar o bolo cair a uma altura de 1m sobre uma superfície lisa, ao atingir a superfície o bolo deve espatifar.

A quantidade de água é considerada ideal caso o ensaio satisfaça as condições mencionadas anteriormente. Caso não seja possível formar o bolo com a marca dos dedos na

mão a quantidade de água é considerada insuficiente, e se ao cair o bolo não se espatifar e se mantiver coeso a quantidade de água é considerada excessiva (NEVES, 2011).



Figura 10 - Ensaio do bolo para verificação da umidade ideal.

2.8.6 Tipos de tijolos de solo-cimento

Existem diversos tipos de modelos e tamanhos de tijolos de solo-cimento no mercado brasileiro, estes devem ser escolhidos de acordo com as necessidades de seus respectivos projetos, mão-de-obra, materiais e equipamentos disponíveis entre outras condicionantes (Tabela 3, Figura 11).

Tabela 3 - Tipos e dimensões de tijolos de solo-cimento produzidos no Brasil (PISANI, 2005).

Tipo	Dimensões	Características
Maciço comum	5 x 10 x 20 cm	Assentamento com consumo de argamassa similar dos tijolos maciços comuns.
	5 x 10 x 21 cm	
Maciço com encaixes	5 x 10 x 21 cm	Assentamento com encaixes com baixo consumo de argamassa.
	5 x 11 x 23 cm	
1/2 tijolo com encaixes	5 x 10 x 10,5 cm	Elemento produzido para que não haja quebras na formação dos aparelhos com juntas desencontradas.
	5 x 11 x 11,5 cm	
Tijolos com dois furos e encaixes	5 x 10 x 20 cm	Assentamento a seco, com cola branca ou argamassa bem plástica. Tubulações passam pelos furos verticais.
	6,25 x 12,5 x 25 cm	
	7,5 x 15 x 30 cm	
1/2 tijolo com furo e encaixe	5 x 10 x 10 cm	Elemento produzido para acertar os cantos, sem a necessidade de quebras.
	6,25 x 12,5 x 12,5 cm	
	7,5 x 15 x 15 cm	
Canaletas	5 x 10 x 20 cm	Elemento empregado para execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagens de tubulações horizontais.
	6,25 x 12,5 x 25 cm	
	7,5 x 15 x 30 cm	



Figura 11 - Tipos de tijolos de solo-cimento (MOTTA et al., 2014)

2.8.7 Parâmetros normativos dos tijolos de solo-cimento

A ABCP (2000), no boletim técnico BT-111, informa que o solo ideal para a mistura de solo-cimento é aquele que possibilita o uso da menor quantidade de cimento possível, e de maneira geral são os solos que apresentam as características informadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de solo para execução de solo-cimento (ABCP,2000).

Parâmetros do Solo	Quantidade
Passando na peneira ABNT 4,8 mm (nº 4)	100%
Passando na peneira ABNT 0,075 mm (nº 200)	10% a 50%
Limite de liquidez	≤ 45
Índice de plasticidade	≤ 18

Os limites de Atterberg (limites de liquidez e plasticidade) possuem as seguintes definições (REBELLO, 2008):

- Limite de liquidez: limite entre o estado plástico e líquido trata-se do teor de umidade que faz com que o solo perca a capacidade de coesão entre as suas partículas;
- Limite de plasticidade: Limite entre o estado semissólido ou quebradiço e o limite plástico;
- Índice de plasticidade: É a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, indica o intervalo em que o solo encontra-se plástico.

Os tijolos modulares de solo-cimento devem obedecer aos preceitos normativos de desempenho para que sejam considerados aptos a serem utilizados nos mais diversos tipos de construções. As normas que regem esses parâmetros são descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Normas relacionadas aos requisitos de desempenho dos tijolos de solo-cimento.

Descrição	Norma
Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - Procedimento	NBR 10833:2012
Tijolo de solo-cimento – Requisitos	NBR 8491:2012
Tijolo de solo-cimento - Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água - Método de ensaio	NBR 8492:2012

A ABNT (2013) na NBR 10833 estabelece que a mistura dos componentes pode ser manual ou mecânica. Primeiramente, deve-se adicionar cimento ao solo já destorroado e peneirado, misturando estes até se obter coloração uniforme na mistura. Em seguida, faz-se a adição de água de forma gradativa, até que seja atinja a umidade ideal de trabalho. Após a realização da mistura, o material deve ser transferido imediatamente para o molde para que se inicie a prensagem dos tijolos. As prensas podem ser do tipo manual ou mecânica (Figura 12).

Após a moldagem, os tijolos devem ser empilhados à sombra sobre superfície plana e lisa e não devem ultrapassar a altura máxima de 1,5 m. Os tijolos devem ser mantidos úmidos durante os primeiros 7 dias de cura e só devem ser utilizados após passados 14 dias de sua moldagem.



Figura 12 - Exemplo de prensa manual (a) e mecânica (b) (NEVES, 2011).

A ABNT (2012a) na NBR 8491 estabelece os requisitos de desempenho dos tijolos de solo-cimento como sendo: dimensões, índice de absorção de água e resistência à compressão. No tocante às dimensões, os tijolos vazados devem obedecer às dimensões contidas na Figura 13 com tolerância de $\pm 1\text{mm}$ para o comprimento, largura e altura. A norma diz ainda que os tijolos podem ter dimensões diferentes das estabelecidas desde que o tijolo permaneça com a altura menor que a sua largura.

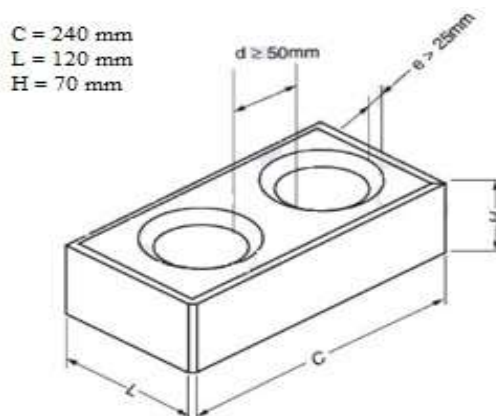


Figura 13 - Ilustração das dimensões dos tijolos de solo-cimento segundo a NBR 8491 (ABNT, 2012a).

Com relação aos valores de resistência à compressão, a NBR 8491 estabelece que a amostra ensaiada não deve apresentar a média dos valores menor que 2 MPa, nem valores individuais menores que 1,7 MPa aos sete dias de idade (ABNT, 2012a).

Quando se trata do índice de absorção de água, a NBR 8491 estabelece que a amostra ensaiada não deve apresentar a média dos valores maior do que 20% nem valores individuais superiores a 22%, com idade mínima de sete dias (ABNT, 2012a).

2.9 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)

O bagaço da cana-de-açúcar obtido após o processamento desta é queimado em caldeiras para a cogeração de energia nas indústrias de açúcar álcool. As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) são o subproduto gerado devido à realização desta queima (BAHURUDEEN; SANTHANAM, 2015).

A quantidade de bagaço produzido varia conforme o teor de fibra da cana processada, este valor gira em torno de 46% de fibra e 50% de umidade, resultando, algo em torno de 260 quilos de bagaço por tonelada de cana processada e, para cada tonelada de bagaço incinerado, são gerados aproximadamente 25 quilos de cinzas (TOMMASELLI et al., 2011).

De acordo com a CONAB (2017) a estimativa de produção de cana-de-açúcar da safra 2017/2018 no Brasil é de 635,6 milhões de toneladas. Tendo por base esta estimativa, podemos prever uma quantia de 4,13 milhões de toneladas de cinzas produzidas.

2.9.1 Materiais pozolânicos

O motivo do uso da CBC em substituição ao cimento em argamassas, concretos e também nas misturas de solo-cimento, se deve basicamente a atividade pozolânica que esta possui em determinadas situações.

Segundo a ABNT (2014), na NBR 12653, materiais pozolânicos são aqueles que, por si sós, apresentam pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que quando finamente divididos e na presença de água, reagem como o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para forma compostos com propriedades aglomerantes.

Ainda segundo a ABNT (2014), na NBR 12653, estes materiais são divididos em pozolanas naturais que são os materiais de origem vulcânica ou sedimentar com atividade pozolânica, e pozolanas artificiais, que são os materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica, como por exemplo, a cinza volante.

Esta norma classifica estes materiais em três classes:

- Classe N: Materiais naturais e artificiais que obedecem aos requisitos da norma, como materiais “cherts” silicosos e argilas calcinadas;
- Classe C: Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas;
- Classe E: Qualquer pozolanas cujos requisitos diferem das classes anteriores.

De acordo com SANTOS (2006), a utilização de pozolanas adicionadas ao cimento confere à argamassa e ao concreto algumas características como maior durabilidade, contribuindo para a inibição da reação álcali-agregado, diminuição do diâmetro dos poros da pasta hidratada, reduzindo a entrada de água e ataque de materiais como sulfatos e cloretos, e menor calor de hidratação.

2.9.2 Características da CBC não processadas e processadas

De acordo com Bahrudeen e Santhanam (2015), as características da cinza são influenciadas pelas condições de queima do bagaço, pela moagem, peneiramento, remoção de partículas grosseiras e também pela combinação destes processos. Fatores como temperatura e tempo de queima são diretamente responsáveis por aspectos como coloração, índice de atividade pozolânica, etc..

Outra característica da CBC sem tratamento é a variedade de formas que ela apresenta. Bahurudeen e Santhanam (2015) encontraram formatos prismáticos, esféricos irregulares e fibrosos (Figura 14). De acordo com os autores as partículas fibrosas possuem alta concentração de carbono.

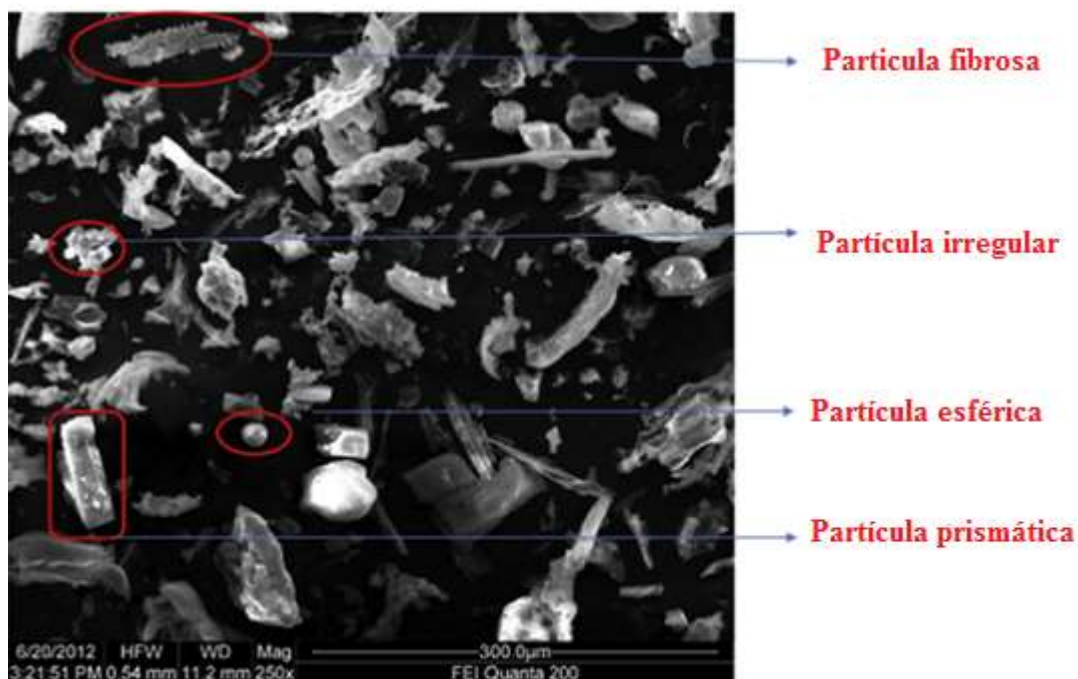


Figura 14 - Variedade de formas das partículas presentes na CBC (BAHURUDEEN e SANTHANAM, 2015).

Na análise química da cinza realizada por Bahurudeen e Santhanam (2015), destaca-se a grande quantidade de mais de 70% de sílica presente no material (Tabela 6).

Tabela 6 - Características químicas da cinza (BAHURUDEEN e SANTHANAM, 2015).

Características químicas	
Óxido	Quantidade (%)
CaO	7,77
SiO ₂	72,95
Al ₂ O ₃	1,68
Fe ₂ O ₃	1,89
MgO	1,98
K ₂ O	9,28
SO ₃	4,45

Seguida pela temperatura de queima, o tamanho das partículas influencia diretamente na atividade pozolânica deste material, Cordeiro et al. (2011) analisaram a influência da distribuição do tamanho das partículas e do grau de finura na atividade pozolânica na cinza residual da casca de arroz, foram encontradas boas correlações entre grau de finura e reatividade.

Cordeiro et al. (2009), analisaram três tipos diferentes de moagem da CBC para avaliar a atividade pozolânica da mesma, os resultados indicaram que a atividade pozolânica aumentou com o grau de finura das partículas.

Bahurudeen e Santhanam (2015) verificaram que a cinza in natura não possui os requisitos mínimos para considerá-la com capacidade cimentícia suficiente, isso se deve a existência de partículas grosseiras de fibras da cana não queimadas durante o processo de queima. Os autores verificaram a maior atividade cimentícia em temperatura de queima de 700 °C. A Figura 15 demonstra os resultados obtidos pelos autores em diferentes temperaturas de queima, partindo da cinza in natura (Raw BA), onde não houve controle de temperatura durante a queima, até a CBC submetida à queima controlada de 900 °C. As linhas tracejadas da imagem delimitam a porcentagem mínima 75% de resistência em relação a amostra de referência, que as amostras devem ter para possuírem atividade pozolânica satisfatória aos 7 e 28 dias de idade.

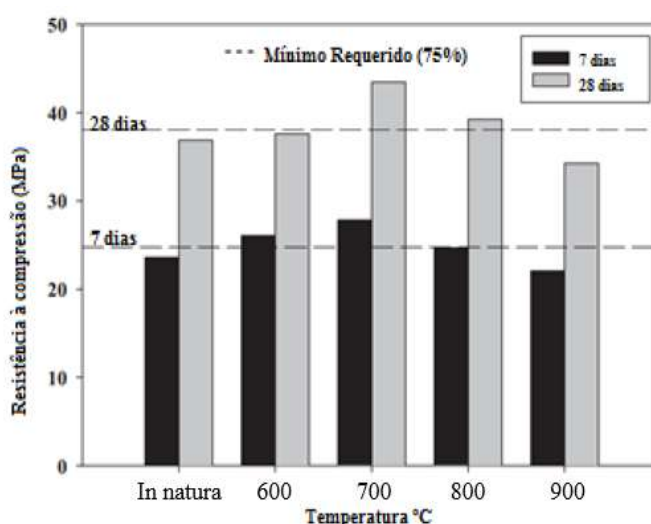


Figura 15— Resistência das misturas ensaiadas com CBC a diferentes temperaturas de queima (BAHURUDEEN e SANTHANAM, 2015).

Não apresentando a CBC atividade pozolânica suficiente para ser usada como substituta parcial do cimento nas misturas, alguns autores a utilizam como substituta do

agregado miúdo (areia). Almeida (2013), utilizou a CBC como substituta parcial do agregado miúdo em argamassas e concretos, Castro e Martins (2016) e Canova et al. (2016) utilizaram a CBC também como substituta parcial do agregado miúdo em argamassas mistas.

2.9.3 Utilização da CBC nos materiais

Canova et al. (2016), estudaram os efeitos da adição das cinzas em argamassas mistas de revestimento. Os autores não mencionam nenhum tipo de tratamento na cinza utilizada. Foram analisadas porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20% a partir do traço em volume 1:6,26 (cimento:areia), de areia por cinzas. Os resultados indicaram que o traço com 5% de substituição melhorou o índice de absorção de água. Os traços com até 15% melhoraram as propriedades mecânicas, mas este parâmetro em argamassas de revestimento não é considerado favorável, pois acaba aumentando o módulo de deformação da argamassa. Por fim os autores consideraram viável o traço com 5% de substituição de areia por CBC.

Castro e Martins (2016) analisaram o efeito da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. As cinzas foram peneiradas e desgrumadas, ou seja, passadas em um desgrumador para sua moagem. Os autores realizaram a substituição em porcentagens de 0,5,10,15 e 20% em massa. Entre eles, o traço com 10% de substituição de areia por CBC foi escolhido para realizar também a substituição do cimento em massa na ordem de 7,5% por cinza leve. Os autores concluíram que a substituição da areia por cinzas é viável, principalmente, no traço com 10% de substituição, que apresentou resistência à compressão superior ao traço de referência. Em relação à substituição do cimento por cinza leve o resultado foi considerado positivo, pois a adição do resíduo não afetou negativamente o traço, mantendo os mesmos parâmetros do traço sem essa substituição, o que indica a possibilidade de se utilizar menos cimento na mistura.

Arif, Clark e Lake (2017) analisaram o efeito filler das cinzas sem tratamento em concretos, as cinzas foram simplesmente recebidas, secas em estufa em temperatura de 105°C, e posteriormente utilizadas. Neste estudo os autores substituíram a areia em porcentagens de 0, 5, 10, 15 e 20%. Os resultados indicaram que a incorporação das cinzas no concreto pode aumentar a resistência à compressão em até 20%. A combinação do efeito filler e baixa atividade pozolânica das cinzas utilizadas melhoraram também a resistência a ataques ácidos das misturas.

Bessa (2011), utilizou cinza do bagaço da cana (CBC) peneirada e moída em moinho tipo pistilo almofariz, como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura

urbana. Foram analisados teores de substituição de 0, 10, 20, 30, 50 e 100%. Com relação aos resultados obtidos, os concretos produzidos com CBC e cimento CII E-32 obtiveram os melhores resultados mecânicos em comparação ao concreto de referência.

Bahurudeen et al. (2015), utilizaram a CBC devidamente peneirada e moída como substituta parcial do cimento em concretos. Além do traço de referência sem nenhuma substituição, foram feitas substituições parciais de 5, 15 e 25% para realização do ensaio de durabilidade, e de 10 e 20% para verificação do calor de hidratação do concreto, todos estes foram verificados quanto à resistência à compressão. Os ensaios de durabilidade foram realizados para avaliar a resistência do concreto ao ataque de cloretos, gás e penetração de água. Os resultados indicaram um significativo aumento de resistência do concreto à ação desses elementos com a substituição deste pela cinza, ou seja, a durabilidade foi aumentada. Em se tratando do calor de hidratação, a incorporação das cinzas contribuiu para a redução do mesmo, comparado ao concreto de referência. Esta redução no calor de hidratação contribui para a redução do aparecimento de fissuras que são nocivas a durabilidade do concreto, facilitando a entrada de agentes agressivos. Por último, todos os traços onde a CBC foi incorporada apresentaram resistência superior ao traço de referência, exceto para substituição de 25% que apresentou valor praticamente igual ao traço de referência aos 56 dias de idade.

Ferrari et al. (2014), estudaram o efeito da substituição parcial do cimento por cinzas em tijolos de solo-cimento, como a utilização de solo da região do Arenito Caiuá do Paraná. Foram verificados os índices de absorção de água e resistência à compressão. Os autores realizaram misturas com teores de 6, 7 e 8% de cimento e porcentagens de substituição de 10 e 20% de cimento por CBC em cada mistura. A cinza utilizada pelos autores foi seca a sombra por dois dias, peneirada e destorroada em um almofariz com um gral revestido com borracha, e em seguida peneirada novamente até que não existissem mais material retido ou a presença de gravetos e outros resíduos considerados como impurezas. Os tijolos com 20% de substituição não atingiram a resistência mínima de 2 MPa estabelecido pela ABNT (2012a) na NBR 8491. Já os tijolos com 10% de substituição obtiveram valores adequados dentro dos padrões normativos. Com relação à absorção de água, todas as amostras ficaram dentro dos limites estabelecidos pela norma. Diante dos resultados obtidos os autores concluíram que por questões econômicas e ambientais a incorporação da cinza em uma taxa não superior a 10% é recomendada para a fabricação de tijolos modulares de solo-cimento sem função estrutural.

Jamsawang et al. (2017), analisaram o efeito da adição de cimento e cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em amostras de argila. A cinza utilizada foi moída durante o período de 30 minutos. A argila utilizada apresentou valores de limite de liquidez, limite de plasticidade e

índice de plasticidade de 74, 34 e 44 respectivamente. Os autores produziram corpos-de-prova cilíndricos medindo 5 cm x 10 cm compostos de argila, cimento e CBC, parte do cimento foi substituído por cinzas e então as misturas foram submetidas a ensaio de resistência à compressão. Foram elaboradas misturas sem cinzas e com 10, 20, 30, 40 e 50% de cimento substituído por CBC. Os corpos-de-prova tiveram suas resistências analisadas nas idades de 3, 7, 14, 28, 90 e 120 dias.

Com base nos resultados obtidos, os autores concluíram que a porcentagem de 20% de substituição foi ideal, pois apresentou a melhor proporção de quantidade de cimento substituída e resistência obtida. Sendo assim, os autores afirmam que as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar podem ser utilizadas juntamente com cimento para melhorar as características de argilas utilizadas na engenharia civil em construções sustentáveis.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campus da Universidade Federal da Grande Dourados, na cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul. Neste local foram realizados os procedimentos de preparação da mistura, moldagem e cura dos tijolos. Os ensaios de laboratório referentes à caracterização e verificação dos parâmetros dos solos utilizados foram realizados pela empresa MECFOR, localizada na cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Os ensaios de absorção de água e resistência à compressão simples foram realizados no Laboratório de Estrutura e Materiais de Engenharia (LEME), da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), na cidade de Cascavel, Paraná.

3.1 Solos

Para a confecção das misturas de solo-cimento foram utilizados dois diferentes tipos de solos. O primeiro, denominado solo A, foi um latossolo coletado no campus da Universidade Federal da Grande Dourados nas coordenadas 22°11'51.9"S de latitude e 54°56'03.6"W de longitude, o segundo denominado solo B foi um latossolo coletado em uma propriedade rural no distrito de Itahum – MS nas coordenadas de 22°07'47.4"S de latitude e 55°09'24.3"W de longitude (Figura 16). Ambos os solos foram coletados a partir da profundidade de 30 cm, pois em ambos a partir dessa profundidade não foi encontrada a incidência de raízes, folhas e outros possíveis materiais orgânicos que pudessem comprometer sua utilização. De acordo com as análises realizadas pelo laboratório da empresa MECFOR, o solo A é um solo predominantemente argiloso, e o solo B, predominantemente arenoso (Tabela 7). Após a realização da coleta, ambos os solos foram levados para o campus da UFGD e espalhados sobre uma lona para a secagem ao sol durante o período de quatro dias. Após a secagem estes foram destorroados e peneirados em peneira de abertura de malha 2,36 mm, para a remoção de materiais estranhos como raízes e folhas.

Tabela 7 - Composição dos solos utilizados.

Item	Argila	Silte	Areia	Pedregulho
Solo A	66,07%	21,40%	12,37%	0,16%
Solo B	19,68%	6,21%	74,07%	0,03%



Figura 16 – Solos utilizados, solo A (a), solo B (b).

Para ambos os solos, foram realizados os ensaios de acordo com as seguintes normas:

- Composição granulométrica NBR 7181 (ABNT, 2016e);
- Massa específica dos grãos dos solos NBR 6458 (ABNT, 2016b);
- Limites de Atterberg NBR 6459 (ABNT, 2016c), e NBR 7180 (ABNT, 2016d);

Baseado nos valores considerados ideais por ABCP (2000) no boletim técnico BT-111 para a confecção de tijolos modulares de solo-cimento, o solo A e o solo B apresentaram os valores demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores considerados ideais e valores dos solos A e B.

Parâmetros do Solo	Parâmetros ideais	Solo A	Solo B
Passando na peneira ABNT 4,8 mm (nº 4)	100%	100%	100%
Passando na peneira ABNT 0,075 mm (nº 200)	10% a 50%	92,04%	28,48%
Limite de liquidez	≤ 45	57	20
Índice de plasticidade	≤ 18	21	13

Devido ao fato de o solo A ser um solo predominantemente argiloso, e por apresentar valores não condizentes com os parâmetros considerados ideais, foi necessário realizar uma mistura com outro tipo de solo (solo B), este predominantemente arenoso, a fim de se obter uma granulometria adequada e, também para que a mistura apresentasse valores mais próximos possíveis do ideal. Para isso foram analisadas diferentes proporções de solo para a confecção da mistura utilizada nos traços. Dentre as proporções testadas, a que apresentou os valores dentro dos parâmetros normativos, e quantidade de areia mais próxima possível do que recomendam Rodrigues e Holanda (2013), Machado e Araújo (2014) e Silva et al. (2014),

foi a proporção em massa de 0,8:1,00 (solo A:solo B). De acordo com os dados obtidos, a quantidade de areia da mistura AB ficou bem próxima do limite recomendado que é de 50%.

Pode-se perceber que o solo B apresenta todos os valores dentro das margens consideradas ideais, entretanto, a quantidade de areia em sua composição é elevada 74,07%, valor acima do recomendado (entre 45 e 50%). O objetivo da mistura foi aproveitar as características da argila presente em grande quantidade no solo A, como a compacidade e aptidão de preenchimento de vazios devido a sua granulometria mais fina, e as propriedades ideais do solo B, gerando um equilíbrio entre os solos.

Os resultados obtidos nos ensaios pela mistura dos dois solos (denominada mistura AB) estão na Tabela 9 e a composição da mistura na Tabela 10.

Tabela 9 - Valores considerados ideais e valores da mistura.

Parâmetros do Solo	Parâmetros ideais	Mistura AB
Passando na peneira ABNT 4,8 mm (nº 4)	100%	100%
Passando na peneira ABNT 0,075 mm (nº 200)	10% a 50%	50,61%
Limite de liquidez	≤ 45	31
Índice de plasticidade	≤ 18	11

Tabela 10 - Composição da mistura AB.

Item	Argila	Silte	Areia	Pedregulho
Mistura AB	36,40%	10,71%	52,72%	0,17%

A mistura AB apresentou uma curva granulométrica descontínua ou de graduação aberta. Este tipo de granulometria apresenta insuficiência de materiais finos, resultando em vazios (Figura 17).



Figura 17 - Curva granulométrica da mistura AB.

Foi utilizado o cimento CP II E-32, a escolha por este tipo de cimento é justificada pela facilidade de compra do produto no mercado local, e também por se tratar do cimento comumente utilizado nas obras da região. O teor de cimento foi mantido fixo em todas as misturas realizadas.

Foi utilizada água proveniente da rede de abastecimento da Universidade Federal da Grande Dourados. O abastecimento da rede é feito por meio de poços distribuídos pela universidade e o seu tratamento realizado por meio de cloração simples.

3.2 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC)

A cinza utilizada nas misturas foi coletada na Usina Nova América, localizada no município de Caarapó – MS. De acordo com as informações fornecidas pela usina a queima do bagaço nas caldeiras ocorre em uma temperatura média de 600°C, não há um controle rigoroso na temperatura de queima nas caldeiras da usina. Após a queima, as cinzas são levadas para o campo para serem posteriormente utilizadas como adubo, e são estocadas em local aberto sob a ação de intempéries.

Por serem depositadas em campo aberto e ficarem sob a ação de intempéries, a CBC coletada apresenta alto teor de umidade, para que pudessem ser utilizadas as cinzas foram secadas ao sol durante quatro dias.

A cinza coletada continha restos de bagaços não queimados assim como gravetos, folhas e outros materiais estranhos, desnecessários e prejudiciais à sua utilização. Para sua utilização, a cinza foi peneirada e os materiais grosseiros retidos nas peneiras foram

descartados (Figura 18). Para a confecção das misturas foram utilizados somente os materiais passantes na peneira de abertura 2,36 mm.



Figura 18 - Materiais grosseiros retidos nas peneiras de abertura 4,8 mm e 2,36 mm.

A cinza foi caracterizada através de ensaio granulométrico, sua curva granulométrica está na Figura 19. As frações granulométricas separadas e identificadas são mostradas na Figura 20, e sua composição explícita na Tabela 11.

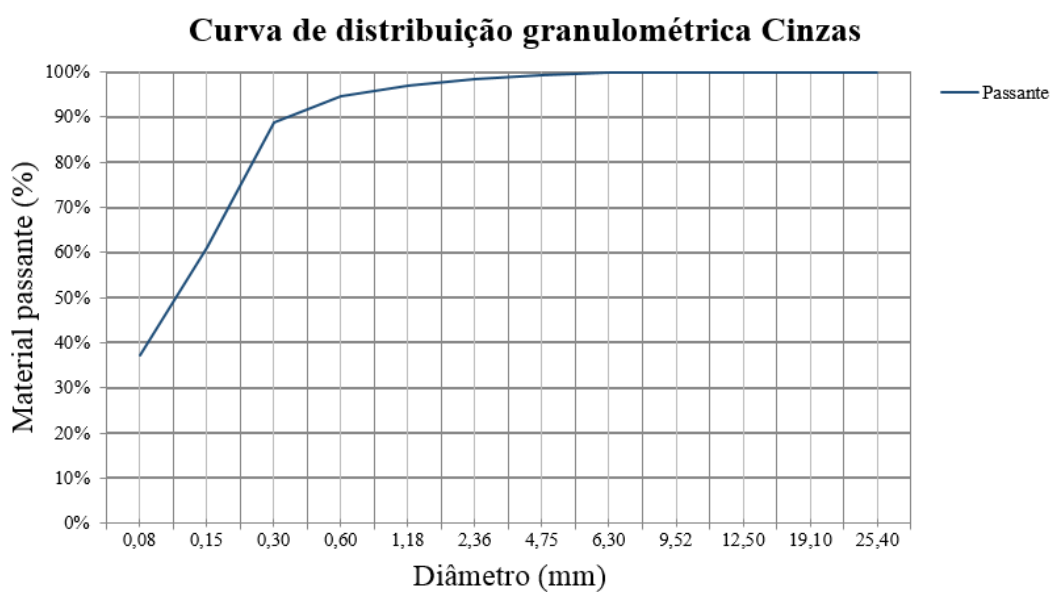


Figura 19 - Curva granulométrica da CBC.



Figura 20 - Distribuição granulométrica visual da cinza utilizada.

Tabela 11 - Composição granulométrica da cinza

Identificação	ABERTURA DA PENEIRA		Porcentagens	
	nº	mm	% Retida	% Passante
a	4	4,75	0,70%	99,30%
b	8	2,36	1,50%	98,50%
c	16	1,18	3,00%	97,00%
d	30	0,60	5,20%	94,80%
e	50	0,30	11,10%	88,90%
f	100	0,15	38,90%	61,10%
g	200	0,08	62,80%	37,20%
h	FUNDO			37,20%

Baseado nos parâmetros expostos por Knappett e Kraig (2014), a granulometria da CBC pode ser considerada como contínua ou bem graduada. No caso da granulometria contínua que é o caso da CBC utilizada, as frações menores preenchem os espaços existentes entre as frações maiores, proporcionando um menor volume de vazios possível. Considerando o módulo de finura da cinza esta pode ser considerada como equivalente à areia média, pois possui módulo de finura de 0,6 e diâmetro máximo característico de 1,18mm.

Na confecção dos tijolos a CBC foi utilizada como material inerte, ou seja, substituindo parte dos solos presentes nas misturas. Justifica-se esse tipo de utilização, pois para realizar a substituição do cimento é necessário que a CBC apresente atividade pozolânica, e de acordo com as análises de Bahurudeen e Santhanam (2015), a cinza in natura tal qual a utilizada nesta pesquisa, não possuía os requisitos mínimos para que fosse

considerada com capacidade cimentícia suficiente, e isso se deve pela existência de partículas grosseiras de fibras da cana não queimadas durante o processo de queima. Mesmo com a retirada das partículas grosseiras por meio de peneiramento simples, a ausência do processo de moagem analisado por Cordeiro et al. (2009), influencia diretamente na atividade pozolânica da CBC, inviabilizando seu uso in natura como substituta do cimento, restando assim a possibilidade de utilizá-la como substituta parcial do solo. As porcentagens de substituição foram de 0, 30 e 40%, o traço 1 sem adição de CBC foi adotado como referência para a comparação com os demais.

3.3 Traços utilizados

Conforme recomendado por ABCP (2000) no boletim técnico BT-111 o traço volumétrico base adotado foi de 1:10, alterando apenas as quantidades de CBC.

Na confecção dos tijolos foi utilizada a mistura de solos AB e a quantidade de cimento foi mantida fixa em 10% em todos os traços utilizados, sendo uma parte de cimento para dez de solo ou solo/cinza. A Tabela 12 detalha os traços em volume utilizados (cimento:solo:cinza).

Tabela 12 - Composição e traços utilizados na pesquisa.

Denominação	Composição	Traço
Traço 1	100% de solo	1:10:0
Traço 2	70% de solo e 30% de cinza	1:7:3
Traço 3	60% de solo e 40% de cinza	1:6:4

Para a confecção das misturas os traços em volume foram convertidos para traço em massa, para isso cada componente da mistura teve sua respectiva massa unitária definida através dos métodos descritos por ABNT (2006) na NBR NM 45.

A quantidade de água utilizada em cada mistura foi definida por meio do teste empírico chamado teste do bolo, descrito na página 18, tópico 2.8.5, da revisão bibliográfica. A quantidade de água utilizada não apresentou diferença significativa entre as misturas, sendo assim utilizada a mesma quantidade para a confecção dos tijolos, tendo estas apresentado os parâmetros necessários de acordo com o teste utilizado.

3.4 Confeção dos tijolos modulares de solo-cimento

De posse dos solos devidamente destorroados e peneirados, foi realizada a mistura na proporção de 0,8:1,00 do solo A com o solo B respectivamente (Figura 21).



Figura 21 - Realização da mistura do solo A com o solo B.

Para o traço de referência após a mistura dos solos foi adicionado o cimento CP II E – 32, para os traços com CBC, foi realizada a mistura dos solos e em seguida adicionada a cinza de acordo com as proporções previamente estabelecidas, os materiais foram homogeneizados e então se procedeu à adição do cimento. Em todos os traços os materiais foram misturados até obter-se uma coloração uniforme, em seguida foi adicionada a água para então iniciar a moldagem.

Todos os tijolos foram moldados em uma prensa manual da marca ECO MAC (Figura 22). Após a moldagem foram colocados sobre estruturas de madeira para iniciar o processo de cura (Figura 23).



Figura 22 - Prensa de tijolos de solo-cimento marca ECOMAC.

Para o ensaio de resistência à compressão foram fabricados sete tijolos por traço para cada ambiente de cura, totalizando quarenta e dois tijolos. Para o ensaio de absorção simples foram fabricados três tijolos por traço para cada ambiente, totalizando dezoito tijolos. Os quantitativos de tijolos foram feitos conforme especificação da ABNT (2012a) NBR 8491.



Figura 23 - Tijolos recém-moldados iniciando o processo de cura.

3.5 Métodos de cura utilizados

Para cada traço estudado foram utilizados dois tipos de cura, ao ar livre e em ambiente protegido, os tijolos curados em ambiente protegido foram cobertos com uma lona preta para que sua umidade fosse preservada, já os tijolos curados ao ar livre não foram cobertos com a

lona para que fosse possível analisar os efeitos causados por uma cura não ideal, como em um canteiro de obras. De acordo com dados do Cemtec (Centro de monitoramento de tempo, do clima e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul), durante o período de cura dos tijolos, a temperatura média na cidade de Dourados foi de 30,25°C e a umidade relativa do ar média foi de 42,36%, não houve chuva no período. Em ambos os ambientes os tijolos foram umedecidos em dois períodos, as 09 e 16 horas durante sete dias, transcorrido o período de sete dias os tijolos curados ao ar livre foram levados para um ambiente coberto juntamente com os demais e armazenados até a realização dos ensaios.

3.6 Ensaios realizados

Para analisar o desempenho dos traços utilizados os tijolos modulares confeccionados foram submetidos à análise dimensional e a dois ensaios diferentes, todos de acordo com os procedimentos descritos na NBR 8492 segundo ABNT (2012b), os ensaios realizados foram:

- Ensaio de resistência à compressão simples;
- Ensaio de absorção de água.

Para a realização dos ensaios a norma determina que sejam utilizados sete tijolos para o ensaio de resistência à compressão simples, e três tijolos para o ensaio de absorção de água.

3.6.1 Ensaio de resistência à compressão simples

Primeiramente os tijolos foram medidos em todas as suas dimensões (Figura 24), após a medição foi realizada o nivelamento da superfície e o capeamento dos tijolos com pasta de cimento Portland com espessura de 3mm (Figura 25).



Figura 24 - Medição dos tijolos com paquímetro.



Figura 25 - Tijolos capeados com pasta de cimento.

Passadas 24 horas após a regularização das faces dos tijolos, estes foram imersos em água durante o período de 6h. Antes de irem à prensa, os tijolos tiveram suas faces secas com um pano levemente umedecido e então foram colocados na máquina para a realização do ensaio de resistência à compressão (Figura 26), todos os tijolos ensaiados possuíam idade superior aos 28 dias.



Figura 26 - Realização do ensaio de resistência à compressão simples.

3.6.2 Ensaio de absorção de água

Para o ensaio de absorção de água primeiramente os tijolos foram levados a uma estufa com temperatura constante de 105 °C durante o período de 24 horas (Figura 27).



Figura 27 - Tijolos em estufa de circulação forçada.

Passado o período em estufa, os tijolos foram pesados até obterem uma massa constante (M1), após a pesagem os tijolos foram mantidos sobre uma bancada para que pudessem entrar em equilíbrio com a temperatura ambiente.

Em seguida, os tijolos foram imersos em um tanque durante o período de 24 horas (Figura 28), retirados da imersão foi removido o excesso de água dos tijolos e estes foram pesados para obtenção de suas massas saturadas. O valor da absorção de água de cada tijolo foi calculado pela seguinte equação:



Figura 28 - Tijolos submersos para realização do ensaio de absorção de água.

3.7 Análise estatística

Para uma melhor avaliação dos resultados obtidos, foi realizada uma análise estatística no software STATISTICA®, em esquema fatorial de (2x3), os fatores de variação foram os

ambientes de cura, em dois níveis (ar livre e ambiente protegido), e as porcentagens de substituição de solo por CBC em três níveis (0, 30 e 40%). Foi realizada a análise de variância para avaliar o efeito das interações entre os fatores sobre as variáveis-resposta resistência à compressão e absorção simples. As médias obtidas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Por não atingirem os pressupostos de homogeneidade e normalidade, os dados de absorção simples passaram por uma transformação ($\text{Sen}(x)$), para que os resultados da análise fossem mais coerentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ensaios de resistência à compressão simples os tijolos com adição de cinza não obtiveram resultados dentro dos limites estabelecidos pela norma ABNT (2012a) NBR 8491. Os métodos de cura utilizados, ao ar livre e ambiente protegido, assim como a adição de cinza do bagaço da cana influenciaram diretamente nas resistências dos tijolos (Tabela 13).

Tabela 13 - Análise estatística dos valores de resistência à compressão

Valores de resistência			
Ambiente		Média (MPa)	EP
Protegido		1,72 a	0,119
Ar livre		1,25 b	0,097
Substituição		Média (MPa)	EP
0		1,88 a	0,132
30		1,30 b	0,077
40		1,26 b	0,149
Ambiente	Substituição	Média (MPa)	EP
Protegido	0	2,12 a	0,110
Protegido	30	1,46 abc	0,119
Protegido	40	1,58 abc	0,245
Ar livre	0	1,65 ab	0,211
Ar livre	30	1,15 bc	0,062
Ar livre	40	0,95 c	0,159
CV (%)		27,58%	

Em relação às médias dos valores de resistência à compressão simples, as médias dos ambientes de cura diferem estatisticamente uma da outra. Segundo Bauer (2001), a cura é um procedimento de suma importância para a hidratação do cimento, sendo esta, entendida como o conjunto de medidas que objetivam evitar a evaporação da água utilizada na cura da peça a qual deve reagir com o cimento hidratando-o. Ainda, segundo o autor este processo favorece a resistência mecânica, impermeabilidade e resistência aos ataques agressivos, pois permite o progresso da formação de gel no cimento presente nas peças.

Silva et al. (2012), analisaram o efeito da cura na resistência de concretos convencionais, os corpos-de-prova analisados foram curados por meio de imersão e também expostos ao ar livre. Os resultados mostraram que os CPs curados ao ar livre tiveram em média uma resistência 14% menor do que os CPs curados por imersão.

No presente estudo os tijolos curados em ambiente protegido obtiveram resultados de resistência superiores aos curados ao ar livre, os tijolos dos traços 1 e 2 curados ao ar livre

tiveram uma resistência 22% menor do que os curados em ambiente protegido, no traço 3 onde ocorre a maior presença de CBC essa diferença foi de 40%. Isso se deve ao fato de que mesmo com o processo de umedecimento os tijolos que foram mantidos ao ar livre tiveram uma perda de água mais acelerada, grande parte devido a alta temperatura média registrada durante o período (30,25°C). De acordo com Grande (2003) a exposição ao ar e ao sol de materiais cimentícios é prejudicial, pois tal procedimento acarreta na perda de água do material por evaporação e a baixa quantidade de água na peça nas idades iniciais prejudica as reações de hidratação do cimento. O cimento CP II E-32 que foi o utilizado nesta pesquisa, possui uma reação de hidratação lenta, e necessita da maior presença de água possível para conferir melhores índices de resistência à mistura, fato que não ocorreu nos tijolos curados ao ar livre devido a perda por evaporação, entretanto, os que foram curados em ambiente protegido tiveram sua perda de água reduzida pelo ambiente em que se encontravam, bem como, devido a lona que os cobria e evitava a evaporação acelerada da água.

Quando se analisa as médias das porcentagens de substituição de solo por CBC, verifica-se que os traços 2 e 3 (com 30 e 40% de CBC respectivamente), são iguais estatisticamente e diferem somente do traço de referência, o que torna claro o fato de que a adição de CBC in natura contribuiu de forma negativa para a resistência à compressão dos tijolos, e demonstra também que a diferença de 10% de CBC entre os traços 2 e 3 não foi suficiente para acarretar diferença significativa entre as resistências.

De acordo com Almeida et al. (2015), as partículas de CBC quando devidamente tratadas possuem o efeito de filler, que preenche os microporos da mistura, reduzindo o índice de vazios contribuindo assim para a manutenção da resistência mecânica. O que ocorreu neste caso foi o contrário, com o aumento dos vazios e consequente queda de resistência.

Em se tratando da comparação entre as médias por ambiente e porcentagem de adição de CBC (Figura 29), a média dos tijolos curados em ambiente protegido sem adição de CBC (traço 1), difere estatisticamente apenas das médias dos tijolos curados ao ar livre com 30 e 40% de adição de CBC (traço 2 e traço 3 respectivamente), e é igual as demais médias obtidas. O traço sem adição de CBC (traço 1), curado ao ar livre difere estatisticamente apenas do traço com 40% de adição de CBC (traço 3), curado ao ar livre. Estes resultados evidenciam certo equilíbrio entre as resistências quando se analisa a interação entre os ambientes de cura e as porcentagens de substituição de solo por cinza, ficando mais clara a diferença entre os tijolos com CBC curados ao ar livre em relação aos demais.

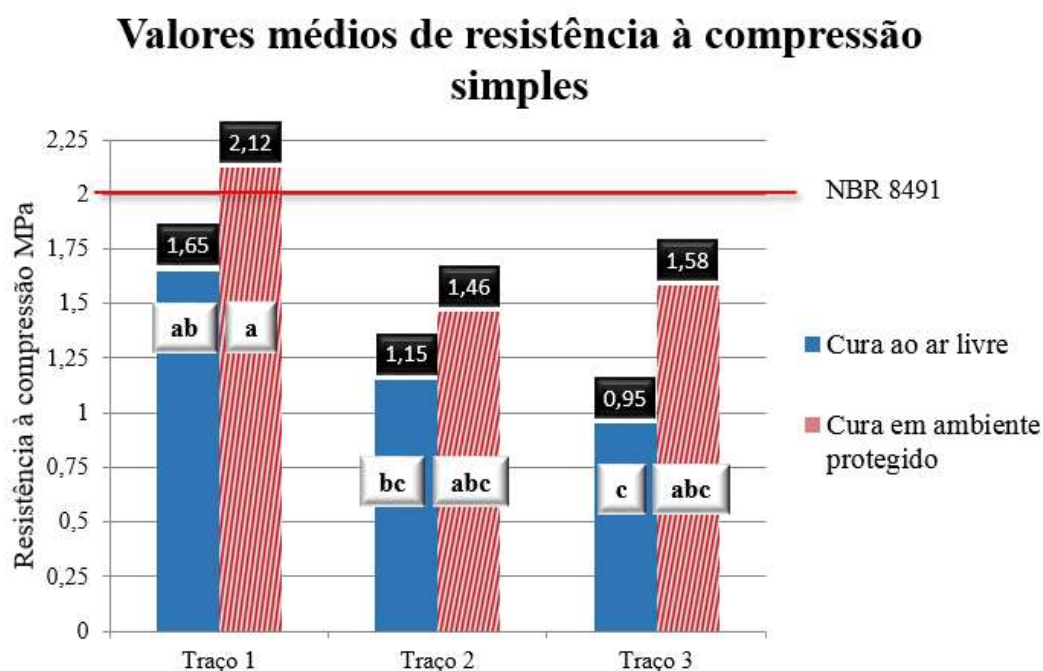


Figura 29 - Valores médios do ensaio de resistência à compressão simples.

Os resultados corroboram com o estudo realizado por Kazmi et al. (2016), que realizaram a incorporação de cinza sem tratamento em tijolos de argila cozidos, foi constatada queda na resistência de tijolos ao incorporar cinzas de casca de arroz e de bagaço de cana “in natura” nos tijolos, o autor apontou que a adição das cinzas ocasionou uma maior porosidade reduzindo a resistência dos tijolos de 8,38 MPa para 5,10 MPa.

Outro fator que influenciou na resistência dos tijolos analisados foi a granulometria compreendida as misturas após a substituição de solo por CBC. De acordo com Teixeira et al. (2015) a maior presença de materiais granulares (que é o caso da maior parte da composição da CBC), compromete a coesão das partículas (principal componente da resistência dos solos finos), deste modo a medida que o material se torna mais granular, sua força de coesão é reduzida. Neste caso a incorporação de CBC sem tratamento nas misturas ocasionou uma menor coesão e maior ângulo de atrito entre as partículas. A grande presença de sílica na cinza ocasionou uma predominância ainda maior deste material nos tijolos, resultando em uma concentração baixa de gipsita prejudicando e fragilizando a ligação entre as partículas de argila.

Em relação aos ensaios de absorção simples, todas as composições analisadas obtiveram resultados dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma ABNT (2012a) NBR 8491, tendo o traço de referência os menores valores de absorção. Os traços que tiveram a

CBC adicionada apresentaram índices de absorção superiores ao traço de referência, sendo que o traço 2 e o traço 3 apresentaram resultados próximos (Figura 30 e Tabela 14).

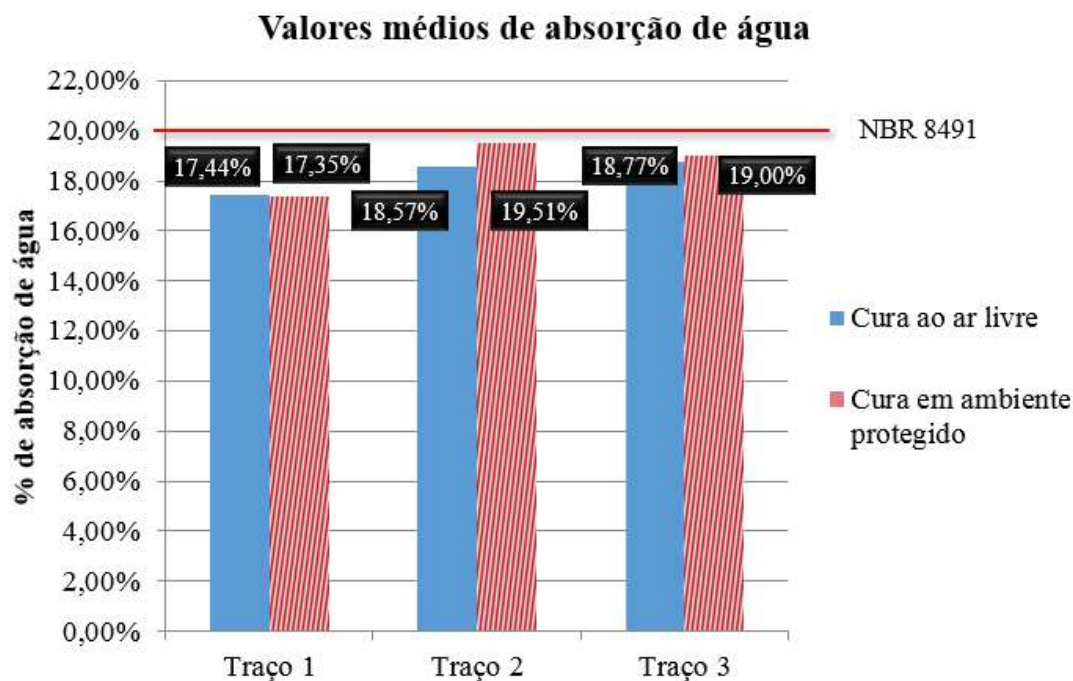


Figura 30 - Valores médios dos ensaios de absorção simples.

Tabela 14 - Resultado da análise estatística dos valores de absorção simples

Valores de absorção			
Ambiente		Média (%)	EP
Protegido		18,62 a	0,504
Ar livre		18,26 a	0,354
Substituição		Média (%)	EP
0		17,40 a	0,067
30		19,04 a	0,467
40		18,20 a	0,614
Ambiente	Substituição	Média (%)	EP
Protegido	0	17,35 a	0,113
Protegido	30	19,51 a	0,860
Protegido	40	19,00 a	1,009
Ar livre	0	17,44 a	0,087
Ar livre	30	18,57 a	0,365
Ar livre	40	18,77 a	0,923
CV (%)		4,71%	

Analisando as médias dos valores de absorção dos tijolos de solo-cimento, nota-se que nos ambientes, porcentagens de substituição, bem como da interação entre os ambientes e porcentagens de substituição não existe diferença estatística significativa, ou seja, mesmo os

valores de absorção dos tijolos com CBC sendo maiores que os valores dos tijolos sem CBC, essa diferença não é significativa a 5% de probabilidade. Apesar da análise estatística não apontar diferença significativa em nenhum dos casos nota-se que mesmo pequena, a adição da CBC nos tijolos acarretou em uma maior absorção quando comparado aos tijolos sem adição.

Lima et al. (2012), obteve resultados semelhantes ao incorporar CBC peneirada e moída em blocos maciços de solo cimento. Os blocos sem adição de CBC apresentaram valores de absorção menores que os blocos que continham CBC em sua composição, entretanto, mesmo os valores de absorção dos blocos com CBC sendo maiores que os de referência, os valores foram bem próximos, assim como os resultados obtidos no presente estudo.

O motivo de os traços com CBC, apresentarem valores de absorção superiores ao traço 1 foi o aumento da porosidade causado pela adição da cinza in natura, Bahurudeen e Santhanam (2015), afirmam que as partículas grosseiras existentes na cinza in natura são muito fibrosas e apresentam alta capacidade de absorção de água. A distribuição granulométrica da CBC sem tratamento não gerou o efeito filler esperado, ou seja, o melhor preenchimento dos vazios das misturas, pelo contrário, a grande presença de partículas com diâmetro elevado, gerou maior quantidade de vazios nos tijolos, acarretando em uma absorção de água superior ao traço sem adição. O mesmo ocorreu no estudo realizado por Kazmi et al. (2016), os autores obtiveram um aumento no índice de absorção de água, ao se incorporar cinza do bagaço da cana sem tratamento em tijolos de argila cozidos, os autores afirmam que a adição da CBC trouxe uma maior porosidade aos tijolos que tiveram a CBC adicionada a mistura.

De acordo com Almeida (2015), o aumento no índice de absorção de um solo pode ser causado pela variação da quantidade de cinzas, micro e macro poros em seus elementos constituintes. Ainda segundo o Autor, devido o preenchimento mais efetivo dos poros de menor diâmetro pela cinza, o que não ocorre nos poros de maior diâmetro, acaba ocorrendo predominância de poros vazios com diâmetro mais elevado nos traços que contenham maior porcentagem de cinzas, acarretando em uma maior absorção de água.

5. CONCLUSÕES

A mistura dos solos utilizados sem a adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar foi adequada, apresentando valores como granulometria, limites de Atterberg, resistência à compressão e absorção de água dentro das margens estabelecidas pela norma e boletins técnicos.

A adição de cinza sem tratamento nos tijolos de solo-cimento para os solos que foram utilizados não é benéfica, tal adição acarretou em menores índices de resistência e em maiores índices de absorção de água.

Os tijolos que tiveram cinza em sua composição não apresentaram diferenças significativas entre os valores de absorção e resistência.

A cura de tijolos de solo-cimento contendo cinzas ou não, deve ser realizada de forma adequada, protegida da ação do vento e do sol, a fim de se evitar perda acelerada de água, para que a reação de hidratação do cimento tenha a presença suficiente de água para conferir a resistência necessária aos tijolos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Dosagem das misturas de solo-cimento normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3 ed. São Paulo: ABCP, 2004. 57 p.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensas manuais**. São Paulo: ABCP, Boletim Técnico BT-111, 2000, 16p.

ALMEIDA, Mario Sérgio de Souza et al. Correção granulométrica de solos para aplicações em estradas florestais: estudo de caso com solos da CENIBRA. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 34, n. 6, p.1085-1090, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622010000600014>.

ALMEIDA, Fernando do Couto Rosa. **Avaliação do potencial de corrosão de armaduras em concretos com substituição parcial do agregado miúdo pela areia de cinza do bagaço da cana-de-açúcar - acbc**.2013. 206 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

ALMEIDA, Fernando C.r. et al. Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 82, p.31-38, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.039>.

ARIF, Elisabeth; CLARK, Malcolm W.; LAKE, Neal.Sugar cane bagasse ash from a high-efficiency co-generation boiler as filler in concrete. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 151, p.692-703, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.136>.

ARRIVABENI, Breno Santos. **Alternativas para estabilização granulométrica e química de solo de estradas florestais**. 2017. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012a. 5 p

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023**: Solo-cimento — Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012c. 7 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Preparação de Amostra de Solo para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016a. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016b. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016c. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016d. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016e. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 8 p.

BAHURUDEEN, A. et al. Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 59, p.77-88, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.03.004>.

BAHURUDEEN, A.; SANTHANAM, Manu. Influence of different processing methods on the pozzolanic performance of sugarcane bagasse ash. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 56, p.32-45, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.11.002>.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 471 p.

BESSA, Sofia Araújo Lima. **Utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como agregado miúdo em concretos para artefatos de infraestrutura urbana**. 2011. 181 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. **Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 12(1): 11-33, 1987.

CAMPOS, Iberê Moreira. **Solo-Cimento, solução para economia e sustentabilidade**. 2007. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23&Cod=124>>. Acesso em: 06 fev. 2018

CANOVA, José Aparecido et al. Avaliação de argamassa mista de revestimento com substituição da areia natural por cinza de bagaço de cana-de-açúcar. **Ciência & Engenharia**,

[s.l.], v. 24, n. 1, p.125-134, 20 jan. 2016. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/19834071.2015.27888>.

CAPUTO, Homero Pinto, **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1996

CASALEIRO, Pedro Daniel Ferreira. **Estabilização Química do Solo Mole do Baixo Mondego por Recurso a Nanomateriais**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

CASTRO, Mário Andrean Macedo et al. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 21, n. 3, p.666-676, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620160003.0064>

CASTRO, Tainara Rigotti de; MARTINS, Carlos Humberto. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p.137-151, set. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300097>.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira cana-de-açúcar. **Observatório agrícola**, Brasília, v. 4, n. 3, p. 1-77, dez. 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

CORDEIRO, Guilherme Chagas et al. Influence of particle size and specific surface area on the pozzolanic activity of residual rice husk ash. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 33, n. 5, p.529-534, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.02.005>.

CORDEIRO, Guilherme Chagas et al. Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete. **Cement And Concrete Research**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.110-115, fev. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.11.005>.

CORTEZ, Luís; MAGALHÃES, Paulo; HAPPI, Júlio. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. **Revista Brasileira de Energia**, v. 2, n. 2, p.12-18, 1992.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 560 p. il.

FERRARI, Vladimir José et al. Tijolos vazados de solo-cimento produzidos com solo da Região do Arenito Caiuá do Paraná. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.131-148, set. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212014000300011>.

FRAGA, Yuri Sotero Bomfim et al. Tecnologia dos materiais: A utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil. **Caderno de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**, Aracaju, v. 3, p.11-24, out. 2016.

Gilio L, Castro N.R. Avaliação de aspectos limitantes ao crescimento do etanol e o setor sucroenergético no Brasil. **Revista Eletrônica de Energia** 6(1):57-74, 2016

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. doi:10.11606/D.18.2003.tde-07072003-160408.

GUEDES, Saul Barbosa. **Estudo do desempenho mecânico de um solo-cimento micro reforçado com fibras sintéticas para uso como revestimento primário em estradas não pavimentadas**. 2013. 426 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

JAMSAWANG, Pitthaya et al. Improvement of soft clay with cement and bagasse ash waste. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 154, p.61-71, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.188>.

KAZMI, Syed Minhaj saleem et al. Exploratory study on the effect of waste rice husk and sugarcane bagasse ashes in burnt clay bricks. **Journal Of Building Engineering**, [s.l.], v. 7, p.372-378, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2016.08.001>.

KER, João Carlos. Latossolos do brasil: uma revisão. **Revista Geonomos**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.17-40, 1 jul. 1997. GEONOMOS. <http://dx.doi.org/10.18285/geonomos.v5i1.187>.

KNAPPETT, J.A.; CRAIG, R.F.. **Craig Mecânica dos Solos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2014. 419 p.

LELLES, Leandro Camillo de et al. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 29, n. 3, p.439-444, jun. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622005000300011>.

LEONEL, R. F. et al. Characterization of soil-cement bricks with incorporation of used foundry sand. **Cerâmica**, [s.l.], v. 63, n. 367, p.329-335, set. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0366-69132017633672131>.

LIMA, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações**. 2013. 114 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

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 (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

LIMA, Sofia Araujo et al. Concretos com cinza do bagaço da cana-de-açúcar: avaliação da durabilidade por meio de ensaios de carbonatação e abrasão. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 201-212, abr. 2011.

LIMA, Sofia A. et al. Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 35, p.829-837, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.127>

MACHADO, A. O.; ARAÚJO, J. A. Avaliação de tijolos ecológicos compostos por lodo de ETA e resíduos da construção civil. In: **XI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2014**. Anais... Resende: p. 1-15, 2014. CD-Room (Gestão do Conhecimento para a Sociedade).

MILANI, Ana Paula da Silva; BARBOZA, Christian Souza. Contribuição ao estudo de propriedades do solo-cimento autoadensável para fabricação de paredes monolíticas. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 16, n. 4, p.143-153, dez. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000400110>.

MOTTA, Jessica Campos Soares Silva et al. Tijolo de solo-cimento: análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis. **E-xacta**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.13-26, 31 maio 2014. Revista Exacta. <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v7i1.1038>.

NEVES, Célia et al. **Técnicas de construção com terra**. Bauru: Proterra, 2011. 79 p.

NEVES, Célia; SALMAR, Eduardo. **Paredes de painéis monolíticos de solo-cimento**. 2009. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=449>>. Acesso em: 06 fev. 2018

NUNES, M. Impactos ambientais na indústria da cerâmica vermelha. SBRT, Dossiê Técnico. Gestão Ambiental, 2012.

PAULA, Marcos Oliveira de et al. Avaliação da atividade pozolânica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar. **Revista engenharia na agricultura - Reveng**, [S.l.], v. 17, n. 1, abr. 2009. ISSN 2175-6813.

PEREIRA JUNIOR, Antonio; LIMA, Natalia Caroline Alves de. Avaliação qualitativa dos impactos ambientais durante o processo produtivo da mineração de areia no rio xingú. altamira-pa. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.230-259, 27 abr. 2018. Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL. <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e22018230-259>.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3.ed São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 354p.il.

PISANI, M. A. J. Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento. **Sinergia**. V.6. n.1. 2005. São Paulo, 2005. 53-59p.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. Zigurate, 2008.

ROCHA, Mirella Talitha; REZENDE, Lilian Ribeiro de. Estudo laboratorial de um solo tropical granular estabilizado quimicamente para fins de pavimentação. **Matéria** (rio de Janeiro), Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, 2 out. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170004.0229>.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F.. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento. **Cerâmica**, [s.l.], v. 59, n. 352, p.551-556, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0366-69132013000400010>.

SAHMARAN, M., LACHEMI, M., HOSSAIN, K. M. A., RANADE, R., LI, V. C. Influence of Aggregates Type and Size on Ductility and Mechanical Properties of Engineered Cementitious Composites. **ACI Materials Journal**, p.308-316, Mai.- Jun., 2009.

SAMPAIO, Rafael. USP cria tecnologia para produzir cimento emitindo até 50% menos CO2. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2013/04/usp-cria-tecnologia-para-produzir-cimento-emitindo-ate-50-menos-co2.html>>. Acesso em: 24 abr. 2016

SANTOS, S. **Produção e Avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza de casca de arroz residual para concreto de alto desempenho**. Tese(Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 267p.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; ZARONI, Maria José. **Latossolos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_11_2212200611540.html>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva; WADA, Patrycia Hanna. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 2, p.179-183, 20 abr. 2011. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i2.9377>.

SILVA, Andressa Varela da Rocha et al. Influência do processo de cura em concreto convencional em seis idades. **Vii Connepi: Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação**, Palmas, out. 2012

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.

TAVEIRA, Eduardo Salmar Nogueira e. **O solo-cimento no campo e na cidade: Construir morar habitar**. 2. ed. São Paulo: Cone, 1987. 120 p.

TEIXEIRA, Ivonei et al. Influência da granulometria e umidade nas propriedades de solos a partir de ensaios destrutivos e não destrutivos. **XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet**, Ouro Preto, p.196-207, nov. 2015

TOMMASELLI, Maria Aparecida Garcia et al. Alternativa de utilização sustentável do resíduo cinza, oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar, incorporando-a ao concreto como agregado. **Encontro nacional de engenharia de produção, XXXI.**, 2011, Belo Horizonte. Engenharia de Produção... Belo Horizonte: [s.n.], 2011. p. 1-9.

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**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.484-492, set. 2004.