

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO – UFMT

KAMILA OLIVEIRA BARROSO

**TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE
SERRAGEM DE MADEIRA E CINZA DA CASCA DE ARROZ**

BARRA DO GARÇAS - MT

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO – UFMT

KAMILA OLIVEIRA BARROSO

**TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE
SERRAGEM DE MADEIRA E CINZA DA CASCA DE ARROZ**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil – UFMT, Campus
Universitário do Araguaia-MT, como pré-requisito
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

Prof. Orientador: Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira.

BARRA DO GARÇAS - MT

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

O48t BARROSO, KAMILA OLIVEIRA.

TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM
ADIÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE MADEIRA E
CINZA DA CASCA DE ARROZ / KAMILA OLIVEIRA
BARROSO. -- 2019

110 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: RAUL TADEU LOBATO FERREIRA.

TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade
Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da
Terra, Barra do Garças, 2019.

Inclui bibliografia.

1. ADOBE. 2. SOLO-CIMENTO. 3. CINZA DA CASCA
DE ARROZ. 4. SERRAGEM DE MADEIRA. I. Título.

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

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO
TRABALHO DE CURSO DO CURSO DE GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA CIVIL

ALUNO(A): KAMILA OLIVEIRA BARROSO

Aos cinco dias do mês de agosto do ano de dois mil e dezenove, às nove horas e minutos, na Sala 205, do Campus Universitário do Araguaia - UFMT na cidade de Barra do Garças, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Curso do(a) acadêmico(a) **KAMILA OLIVEIRA BARROSO**. A banca foi composta pelos seguintes professores: orientador Prof. Me. **RAUL TADEU LOBATO FERREIRA**, Prof. Dr. **JACKSON ANTÔNIO LAMOUNIER CAMARGOS RESENDE** e Prof. **IURY BISPO DOS SANTOS**. O Trabalho de Curso tem como título: **TIJOLOS DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE MADEIRA E CINZA DA CASCA DE ARROZ**. Após explanação no prazo regulamentar o(a) aluno(a) foi interrogado pelos componentes da banca. Terminada a etapa, os membros, de forma confidencial avaliaram o(a) aluno(a) e conferiram o(a) mesmo(a) o seguinte resultado APROVADA, proclamado pelo presidente da sessão. Dados por encerrados os trabalhos, lavrou-se a presente Ata, que será assinada pela banca e pelo(a) aluno(a).

Barra do Garças, 05 de agosto de 2019.

Aluno(a): Kamila Oliveira Barroso

Banca:

Raul Tadeu Lobato Ferreira
• Prof. Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira (orientador)
Universidade Federal de Mato Grosso

Jackson Antônio Lamounier Camargos Resende
Prof. Dr. Jackson Antônio Lamounier Camargos Resende (membro)
Universidade Federal de Mato Grosso

Iury B. dos Santos
Prof. Iury Bispo dos Santos (membro)
Universidade Federal de Mato Grosso

RESUMO

A degradação e os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil (ICC) são observados em todas as fases de seu processo produtivo. Dessa forma, visando alternativas que reduzam o consumo acelerado de recursos naturais, a degradação do meio ambiente, o alto consumo de energia para a fabricação de materiais e os custos do produto final, têm-se buscado o desenvolvimento de técnicas construtivas e de materiais sustentáveis. Dentro desse contexto, destaca-se o reaproveitamento dos resíduos gerados pela própria indústria da construção civil, de agroindústrias, de madeireiras e outros setores. Sendo assim, o resgate da terra crua para confecção de blocos de solo estabilizado é uma das possibilidades para o reaproveitamento desses materiais e desenvolvimento sustentável da ICC. Portanto, a presente pesquisa teve por intuito verificar a possibilidade da incorporação de serragem de madeira e cinza da casca de arroz em matriz de solo cimento para a confecção de tijolos de adobe, de forma a valorizar a importância da preservação ambiental e apresentar alternativas para a redução do consumo de recursos naturais. Para isso procedeu-se, especificamente, com a análise da resistência à compressão simples, capacidade de absorção de água e retração para o período de cura de 7 dias. Os blocos confeccionados com a adição individual dos resíduos atenderam aos critérios de resistência à compressão simples e de retração. No entanto, os blocos confeccionados com a adição simultânea dos resíduos apesar de atenderem aos critérios de retração não apresentaram valores de resistência à compressão e absorção de água satisfatórios.

Palavras-chave: adobe, solo-cimento; cinza da casca de arroz; serragem de madeira.

ABSTRACT

Degradation and the environmental damages caused by the civil construction industry (CCI) are observed in all its productive process. In this context, seeking alternatives that reduce the hasty consumption of natural resources, the environmental damages, the elevated energy consumption for the materials fabrication and the final products costs, the development of both sustainable building techniques and materials has started. With this in mind, it's important to notice the reuse of wastes generated by the construction industry itself, agrobusiness and also logging companies besides other departments. Therefore, this research aimed to verify the possibility of incorporating wood sawdust, rice husk gray into cement soil's mold for the confection of adobe bricks, as a way to enrich the importance of environmental preservation and to present alternatives for the reduce of natural resources consumption. To this end has been proceeded, specifically, with the analyses of simple compressive strength, water absorption capacity and retraction for the 7-day cure cure period. Blocks that were made with individual addition of wastes fulfilled the criteria of simple compression and retraction. However, blocks that were made with the concurrent addition of wastes even though they've fulfilled the retraction criteria, they haven't showed satisfying values of compression strength and water absorption.

Keywords: adobe, soil-cement, rice husk gray, wood sawdust.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar ao meu lado, pela sua bondade, força e sabedoria. À minha família pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis. Ao meu orientador Professor Me. Raul Tadeu Lobato Ferreira pelas orientações, incentivo, aprendizados, paciência, profissionalismo e por buscar, na cidade de Sinop-MT, um dos materiais fundamentais para essa pesquisa, a cinza da casca de arroz. Resumindo, por sempre estar disposto a me auxiliar na resolução dos meus esquemas. Aos amigos, que ajudaram nos ensaios práticos, por não medirem esforços ao embarcar nessa jornada exaustiva e cheia de desafios, mas também, de momentos memoráveis em nossas vidas. Ao técnico Júlio Campos da Cruz pelo acompanhamento e auxílio nos ensaios realizados, transporte dos adobes e na busca de materiais fundamentais para realização da pesquisa. A todos que, mesmo não sendo mencionados, ofereceram-me apoio e contribuíram para a realização deste projeto e com a minha formação, o meu muito obrigado!

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação granulométrica – Dimensão dos grãos.....	27
Tabela 2 - Classificação dos solos, em função do IP e LL.	31
Tabela 3 - Percentual dos componentes presentes no CP.	41
Tabela 4 - Composição dos cimentos Portland comuns e compostos.	42
Tabela 5 - Resumo dos dados de geração de resíduos e potencial energético dos resíduos, ano base 2009.	47
Tabela 6 - Composição química de cinzas de casca de arroz, % em massa.....	52
Tabela 7 - Parâmetros para classificação do solo.....	56
Tabela 8 - Parâmetros para classificação do solo.....	60
Tabela 9 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável resistência à compressão simples.	67
Tabela 10 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável retração.....	68
Tabela 11 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável absorção.	70
Tabela 12 - Teor de umidade das amostras de Serragem	71
Tabela 13 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de serragem sobre a variável resistência à compressão simples.	74
Tabela 14 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável absorção.	77
Tabela 15 - Composição da mistura de serragem + CCA.....	78
Tabela 16 - Resistência à compressão simples - CCA	98
Tabela 17 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável resistência à compressão simples.....	99
Tabela 18 - Retração das amostras de CCA.....	99
Tabela 19 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável retração.	99
Tabela 20 - Teor de umidade dos blocos.	100
Tabela 21 - Absorção aos 7 dias de cura.....	100
Tabela 22 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável absorção.....	100
Tabela 23 - Resistência à compressão simples crítica.....	101
Tabela 24 - Teste T Student para amostra C-10.....	101
Tabela 25 - Dados do ensaio granulométrico.....	102
Tabela 26 - Resistência à compressão simples	103

Tabela 27 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de serragem sobre a variável resistência à compressão simples – aos 7 dias de idade.	104
Tabela 28 - Retração das amostras de serragem	104
Tabela 29 - Valores obtidos para determinação do teor de umidade.	104
Tabela 30 - Absorção aos 7 dias de cura.	105
Tabela 31 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de serragem sobre a variável absorção.	105
Tabela 32 - Resistência à compressão simples crítica.	105
Tabela 33 - Resistência à compressão simples.	106
Tabela 34 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra controle e S1C2,5.	106
Tabela 35 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra S-1 e S1C2,5.	107
Tabela 36 - Resultado do Teste T Student para a resistência, amostra C-2,5 e S1C2,5.	107
Tabela 37 - Retração das amostras S1C2,5.	107
Tabela 38 - Dados para determinação do teor de umidade.	108
Tabela 39 - Absorção dos blocos.	108
Tabela 40 - Resultado do Teste T Student para a absorção, amostra controle e S1C2,5.	108
Tabela 41 - Resultado do Teste T Student para a absorção, amostra S-1 e S1C2,5	109
Tabela 42 - Resultado do Teste T Student para a absorção, amostra C-2,5 e S1C2,5.	109
Tabela 43 - Resistência à compressão crítica.	109
Tabela 44 - Teste T Student para amostra S1C2,5.	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia da construção civil.	22
Figura 2 - Esquematização da Classificação e Formação dos Horizontes Pedológicos.....	26
Figura 3 - Exemplo de curva granulométrica.....	27
Figura 4 - Formatos da curva granulométrica.....	28
Figura 5 - Triângulo de Feret.....	29
Figura 6 - Estado do solo, em função de seu teor de umidade.	29
Figura 7 - Aparelho Casagrande.	30
Figura 8 - A Grande Muralha da China.	31
Figura 9 - Moldagem de tijolos de adobe.	33
Figura 10 - Compactação do solo.	34
Figura 11 - Aplicação do barro na estrutura vegetal.....	35
Figura 12 - Construção de alvenarias com a utilização de BTC.....	36
Figura 13 - Classificação dos Resíduos de Madeira Segundo Fonte de Geração. ...	49
Figura 14 - Casca de arroz carbonizada e crua	51
Figura 15 - Localização de retirada do solo.	55
Figura 16 - Abertura realizada para retirada do solo utilizado.....	55
Figura 17 - Serragem de madeira.	57
Figura 18 - Serragem de madeira após o peneiramento.....	58
Figura 19 - Cinza da casca de arroz.	59
Figura 20 - Moldagem dos blocos de adobe.	61
Figura 21 - Cura dos blocos: (a) Solo-cimento-serragem; (b) Solo-cimento-CCA e (c) Solo-cimento-serragem-CCA	61
Figura 22 - Distribuição da mistura dentro da caixa.	62
Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão simples.	63
Figura 24 - Blocos submersos em água.....	64
Figura 25 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos de CCA.	66
Figura 26 - Aspecto das amostras após o ensaio de retração	67
Figura 27 - Valores de retração das amostras de CCA.....	68
Figura 28 - Teor de umidade médio dos blocos aos 7 dias- CCA.	69
Figura 29 - Absorção dos blocos aos 7 dias - CCA.....	70
Figura 30 - Resultados de resistência à compressão simples crítica – CCA	71
Figura 31 - Curva granulométrica do resíduo de serragem.....	72

Figura 32 - Classificação granulométrica da serragem de madeira.	72
Figura 33 - Frações retidas de serragem de madeira após o peneiramento.	73
Figura 34 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos de serragem.	73
Figura 35 - Aspecto das amostras após o ensaio de retração.	75
Figura 36 - Valores de retração das amostras de serragem.	75
Figura 37 - Teor de umidade médio dos blocos de serragem aos 7 dias.	76
Figura 38 - Absorção dos blocos de serragem aos 7 dias.	77
Figura 39 - Resistência à compressão simples crítica - CCA.....	78
Figura 40 - Comparativo da resistência à compressão simples média dos blocos de S1C2,5 com os blocos S-1 e C-2,5.	79
Figura 41 - Aspecto das amostras após o ensaio de retração.	80
Figura 42 - Valores de retração das amostras	80
Figura 43 - Teor de umidade dos blocos.	81
Figura 44 - Absorção média dos blocos aos 7 dias.	82

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO – *American Association of State Highway and Transportation Official*

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BTC – Bloco de Terra Comprimida

CA – Casca de Arroz

CCA – Cinza da casca de arroz

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento

CIWMB – *California Integrated Waste Management Board*

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP – Cimento Portland

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

ETA – Estação de Tratamento de Água

FAO – *Food and Agriculture Organization*

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICC – Indústria da Construção Civil

IP – Índice de Plasticidade

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PIB – Produto Interno Bruto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 PROBLEMATIZAÇÃO	16
3 JUSTIFICATIVA.....	18
4 OBJETIVOS.....	19
4.1 OBJETIVO GERAL	19
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
5.1 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	20
5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA	25
5.2.1 O solo	25
5.2.2 Solo como material construtivo.....	31
5.3 TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS	37
5.3.1 Solo Cimento	39
5.4 RESÍDUOS UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS ..	45
5.4.1 Resíduos Agroindustriais.....	46
5.4.1.1 Resíduo Madeireiro	48
5.4.2 Uso de cinzas vegetais na estabilização de solos.....	50
6 METODOLOGIA	55
6.1 SOLO	55
6.2 CIMENTO PORTLAND.....	56
6.3 OBTENÇÃO DA SERRAGEM DE MADEIRA.....	56
6.4 OBTENÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ.....	58
6.5 CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE ADOBE	59
6.5.1 Preparo da Mistura.....	60
6.5.2 Moldagem dos Tijolos.....	60
6.5.3 Cura dos Blocos	61
6.6 MÉTODOS	62
6.6.1 Ensaio de Retração	62
6.6.2 Ensaio de Resistência à Compressão Simples	63
6.6.3 Teor de umidade e Ensaio de Absorção de Água	63
6.6.4 Análise estatística	64
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
7.1 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO-CCA.....	66
7.1.1 Análise da resistência à compressão simples	66
7.1.2 Análise da retração	67

7.1.3 Análise do teor de umidade, da absorção de água e resistência à compressão simples crítica	69
7.2 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO-SERRAGEM	71
7.2.1 Caracterização do resíduo de madeira	71
7.2.2 Análise da resistência à compressão simples	73
7.2.1 Análise da retração	75
7.2.2 Análise do teor de umidade, da absorção de água e resistência à compressão simples crítica	76
7.3 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO-SERRAGEM-CINZA DA CASCA DE ARROZ	78
7.3.1 Análise da resistência à compressão simples	78
7.3.2 Análise da retração	79
7.3.3 Análise do teor de umidade, da absorção de água e resistência à compressão simples crítica	81
8 CONCLUSÃO	84
9 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	86
APÊNDICE A – TABELAS DE RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO E RETRAÇÃO - CCA	98
APÊNDICE B – TABELAS DE GRANULOMETRIA, RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO E RETRAÇÃO - SERRAGEM	102
APÊNDICE C – TABELAS DE RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO E RETRAÇÃO – SERRAGEM+CCA.....	106

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem papel importante no desenvolvimento econômico e social de um país, sendo que fatores como a qualidade de vida e infraestrutura estão diretamente ligadas a esse setor, além do grande impacto no Produto Interno Bruto (PIB) de um país e no PIB mundial. A crescente industrialização e o aumento populacional, têm levado a expansão da urbanização e desenvolvimento do setor da construção civil, provocando grande impacto ambiental e o consumo desenfreado de recursos naturais (FOSSATI, 2008; HORTA *et al.*, 2013; BEZERRA, 2011; WEBER *et al.*, 2017; ALVES, 2018).

O impacto ambiental ocasionado pelo setor da construção civil assim como por diversas outras atividades antrópicas, é decorrente da alta geração de resíduos, os quais raramente recebem tratamento e destinação correta. Em vista desse cenário, é de suma importância ambiental, social e econômica, a busca por alternativas sustentáveis que reduzam a degradação ambiental ocasionada por este setor. As técnicas sustentáveis devem proporcionar a redução no consumo de recursos naturais, pela substituição por resíduos reciclados; redução do consumo de energia durante o processo de produção e redução da poluição (PIRES, 2004; BARBOSA 2006; FOSSATI, 2008; HORTA *et al.*, 2013; BEZERRA, 2011; PINTO, 2015; WEBER *et al.*, 2017; ALVES, 2018).

A terra crua tem se mostrado uma alternativa sustentável para essa problemática, visto que, o solo é um material de grande disponibilidade, de baixo custo e permite a incorporação de resíduos gerados pelos setores industriais. Sendo resgatada por meio de algumas técnicas, como a taipa de mão, a taipa de pilão e o adobe, sob a forma de tijolos ou blocos prensados confeccionados com a inclusão de resíduos (ABIKO, 1984; FERREIRA; FREIRE, 2003; PIRES, 2004; BARBOSA, 2006; SEGANTINI; ALCANTARA, 2007; FOSSATI, 2008; BEZERRA, 2011; HORTA *et al.*, 2013; PINTO, 2015; WEBER *et al.*, 2017; ALVES, 2018).

De forma a melhorar as características físico-químicas desses tijolos, é realizado a estabilização dos solos. A estabilização, visa alterar as propriedades do sistema solo-água-ar com o objetivo de melhorar a resistência à compressão, durabilidade e o comportamento desses materiais sob a ação da água. Para isso, pode-se realizar a adição de aditivos químicos ou a incorporação de resíduos de

atividades industriais, agrícolas ou agroindustriais, como: cimento, cal, silicato de sódio, cinzas vegetais (da casca de arroz e do bagaço de cana-de-açúcar), cinzas volantes¹ e escória de alto forno, possibilitando assim, a utilização do solo como matéria-prima construtiva (FERREIRA; FREIRE, 2003; BARBOSA, 2006; FOSSATI, 2008; HORTA et al, 2013; BEZERRA, 2011; PIRES, 2014; PINTO, 2015; WEBER et al., 2017; ALVES, 2018).

Os processos agrícolas e industriais geram um elevado volume de resíduos, bem como, são responsáveis por um elevado consumo de energia e recursos naturais. Visto que, estes resíduos na maioria das vezes não recebem tratamento adequado ou são dispostos irregularmente na natureza, sendo, frequentemente, queimados sem controle algum, dessa forma, acarretando a poluição atmosférica e a poluição dos rios (TASHIMA et al., 2011). E por mais que o potencial energético desses resíduos seja explorado (resíduo madeireiro como combustível em fornos de cerâmica ou resíduos agrícolas como o bagaço da cana que é usado para geração de vapor e energia elétrica em caldeiras) é necessário que os subprodutos desses reaproveitamento continuem sendo bem gerenciados por conta dos danos que as cinzas podem causar ao meio ambiente.

Em função de sua composição química, a disposição inadequada das cinzas de resíduos agroindustriais tem causado a contaminação de grandes áreas, como leitos dos rios e no solo, oferecendo riscos à saúde da população. Além do carbono residual proveniente da combustão, a cinza de materiais vegetais possui em sua composição um alto teor de sílica no estado amorfo ou cristalino (teores maiores que 90%) além de outros óxidos. No estado amorfo, a sílica apresenta o desencadeamento de reações químicas que favorecem as propriedades de resistência mecânica e durabilidade de materiais cimentícios, como tijolos de solo-cimento (CINCOTTO & KAUPATEZ, 1984 apud ALCANTARA et al., 2011; ALCÂNTARA, 1995; GRANDE, 2003; FOLETTTO et al., 2005; DELLA et al., 2005; BARBOSA, 2006; PAULA et al., 2009).

Deste modo, a associação de resíduos agroindustriais às técnicas construtivas com terra oferece além das vantagens técnicas, benefícios sociais e ambientais relacionados com a redução da problemática de disposição inadequada dos resíduos.

¹ Subproduto da combustão do carvão mineral (HOPPE FILHO, 2008)

Diante disso, pretende-se avaliar as propriedades físicas de blocos solo-cimento com incorporação de resíduos agroindustriais (serragem de madeira e cinza da casca de arroz), afim, de que, os resultados obtidos neste trabalho forneçam subsídios ao meio técnico. Contribuindo assim, para novos avanços na aplicação desses materiais.

2 PROBLEMATIZAÇÃO

A Revolução Industrial do século XVII propiciou o crescimento acelerado dos centros urbanos e, conseqüentemente, o desenvolvimento da indústria da construção civil. No cenário interno, essa conjuntura se manteve, de modo que aproximadamente 80% da população brasileira se concentra nas cidades e o ramo da construção civil se mostra significativo para o crescimento econômico e social do país (PINTO, 2005).

Não obstante ao fator positivo da indústria empreiteira, este setor é responsável pela geração de mais de 60% dos resíduos sólidos gerados no Brasil (PINTO; GONZÁLEZ, 2005). Com o desenvolvimento da indústria da construção civil, práticas tradicionais e menos agressivas ao meio ambiente, como as técnicas de construção com terra, perderam espaço para novos materiais, dotados de propriedades físico-químicas consideravelmente melhores. No entanto, com o desenvolvimento e aperfeiçoamento dessa técnica construtiva, o solo pode ser reintroduzido no mercado como alternativa sustentável para redução dos resíduos gerados, atendendo as normas vigentes e exigências de projeto.

Apesar de sua abundância na natureza, nem sempre o solo está em condições ideais de uso, necessitando assim, de processos de correção (PINTO, 2005). Por conseguinte, diversas técnicas de estabilização e reforço são realizadas sobre o solo como forma de otimizar suas propriedades e, por consequência, permitir o resgate de sua utilização nas construções (KATTI, 1981 apud MONTARDO *et al.*, 2001).

A incorporação de resíduos de diversos setores industriais, como os resíduos provenientes de atividades agroindustriais, vem sendo amplamente utilizados para estabilizar os solos. Os resíduos agroindustriais, frequentemente, são depositados de forma inadequada no meio ambiente, oferecendo riscos de contaminação, principalmente do solo e das águas subterrâneas. Dentre os resíduos agroindustriais, têm-se as cinzas vegetais (cinza da casca de arroz, cinza do bagaço da cana-de-açúcar), que quando descartadas de forma inadequada, poluem o solo por conta do carbono residual presente em sua constituição, oriundo do processo de combustão. Outro resíduo agroindustrial que merece destaque são os resíduos de serragem de madeira, que constantemente são eliminados por meio da queima, provocando poluição atmosférica, o assoreamento e poluição dos rios, além, do desperdício energético (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MADEIRA, 1989

apud LACOMBE, 2015; BRAND, 2002; DELLA et al., 2001; FOLETTTO *et al.*, 2005; POUHEY, 2006, MILANI, 2008; CINCOTTO, 1988 apud CAMPOS, 2005; NEFUSSI, 1985).

Considerado o exposto, este trabalho tem como principal proposta a estabilização química de um solo coletado no município de Pontal do Araguaia - MT, para a confecção de adobe de solo-cimento, com a incorporação de cinza da casca do arroz e serragem de madeira, de modo a retomar o uso da terra crua como matéria-prima no sistema construtivo, bem como verificar a potencialidade de reaproveitamento e destinação final adequada destes resíduos. Para tanto, elenca-se como objetivo desta pesquisa a avaliação da viabilidade técnica do bloco, assim como de suas propriedades físico-mecânicas, que se dará por meio de ensaios laboratoriais.

3 JUSTIFICATIVA

Em todas as fases do processo produtivo da indústria da construção civil se observam efeitos deletérios ao meio ambiente (JOHN *et al.*, 2007). Nos últimos anos tem-se observado a aproximação do setor do conceito de desenvolvimento sustentável, de modo a se explorar recursos naturais e produzir materiais com mais racionalidade, pensando-se nas necessidades das gerações presentes e futuras, e, em respeito ao meio ambiente. (BRANDON, 1998; ANGULO, 2000; JOHN, 2000; ZWAN, 1997).

Dessa forma, visando alternativas que reduzam os impactos ambientais, o consumo de energia e de matéria prima pela ICC, têm-se buscado o desenvolvimento sustentável do setor. Como resultado, destaca-se o reaproveitamento dos resíduos gerados pela indústria da construção civil, de agroindústrias, de madeireiras, bem como a redução das deposições irregulares e a queima indiscriminada destes materiais (MILANI, 2005).

Neste contexto, o resgate da terra crua para confecção de blocos de solo estabilizados como material construtivo é uma das possibilidades para o desenvolvimento sustentável deste setor. Isso se deve pelo fato do solo ser uma matéria-prima abundante na natureza, apresentar um bom comportamento térmico e acústico, ser reciclável, reutilizável e de baixo custo, e por fim, pela desnecessidade de queima dos blocos, o que reduz o consumo de recursos energéticos (PISANI, 2005).

Portanto, a presente pesquisa tem por intuito mostrar técnicas de construções sustentáveis, de forma a valorizar a importância da preservação ambiental e apresentar alternativas para a redução do consumo de recursos naturais. Para isso, buscou-se materiais de baixo impacto ambiental e condições para o aproveitamento de resíduos florestais, agrícolas e agroindustriais. Procedendo-se, especificamente, com a análise das propriedades mecânicas e da durabilidade de tijolos de adobes de solo-cimento estabilizados com a cinza da casca de arroz e a serragem de madeira. Visando, por fim, apontar a importância do desenvolvimento de tais materiais e a viabilidade técnica para utilização destes pelo setor da construção civil, justificando-se, assim, o presente trabalho.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho foi verificar a resistência à compressão, absorção de água por imersão, retração e avaliar a viabilidade técnica de blocos de adobe de solo-cimento reforçado com cinza da casca de arroz e serragem de madeira.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da adição de teores de 2,5%, 5% e 10% de cinza de casca de arroz e 1%, 3% e 5% serragem de madeira, na resistência à compressão de blocos de solo-cimento, com tempo de cura de 7 dias;
- Verificar o efeito da adição de teores de 2,5%, 5% e 10% de cinza de casca de arroz e 1%, 3% e 5% serragem de madeira, na capacidade de absorção de água de blocos de solo-cimento, com tempo de cura de 7 dias;
- Examinar o efeito da adição de teores de 2,5%, 5% e 10% de cinza de casca de arroz e 1%, 3% e 5% serragem de madeira, na retração da mistura solo-cimento;
- Determinar o teor de cinza de casca de arroz e de serragem de madeira com melhor desempenho ou menor dano a fim de confeccionar blocos com a incorporação simultânea dos dois resíduos, avaliando resistência à compressão, absorção de água e retração;
- Verificar a resistência à compressão dos blocos após imersão em água.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A construção civil é fundamental para o desenvolvimento econômico do país, influenciando na geração de empregos, renda e impostos, ou pela geração de demanda em setores fornecedores de insumo, como a indústria de matéria-prima, serviços e equipamentos (FIALHO *et al.*, 2014; KURESKI *et al.*, 2008). Dessa forma, ressaltando o impacto positivo em outros setores e a importância desse setor para o crescimento econômico e (KURESKI *et al.*, 2008), Teixeira e Carvalho (2005) afirmam que:

“A forte interligação para trás da indústria da construção com outras atividades permite classificá-la como um setor-chave da economia brasileira. (...) é uma atividade que complementa a base produtiva e cria externalidades positivas que aumentam a produtividade dos fatores de produção e incentivam as inversões privadas, sendo de importância estratégica para a sustentação do desenvolvimento econômico e social brasileiro.” (TEIXEIRA; CARVALHO, 2005, p.9).

Apesar da contribuição socioeconômica auferida pelo ramo da construção civil, verifica-se uma grande preocupação para com este setor, pois afeta significativamente o ambiente e a sociedade. É importante ressaltar que, com o processo de urbanização, os centros urbanos foram sendo densificados rapidamente, resultando, dessa forma, no aumento exponencial da demanda do setor construtivo (BRASILEIRO *et al.*, 2015). Segundo Agopyan e Jonh (2011), as atividades da indústria da construção civil geram grandes impactos ambientais, incluindo o uso de grande quantidade de materiais de construção, mão de obra, água, energia e geração de resíduos. Em escala mundial, a indústria da construção consome cerca de 12% a 16% de toda a água disponível, 40% da produção de energia, 32% de recursos renováveis e não renováveis, 25% de toda madeira, 40% de matérias-primas, é responsável pela geração de 30% a 40% do total de resíduos sólidos, e por 35% das emissões de dióxido de carbono (CO₂) (SON *et al.*, 2011; BERARDI, 2013; apud DARKO *et al.*, 2017).

Diante desses preocupantes reflexos, a Resolução CONAMA nº 01/86 considerou como impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: (i) a

saúde, a segurança e o bem-estar da população; (ii) as atividades sociais e econômicas; (iii) a biota; (iv) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e (v) a qualidade dos recursos ambientais.

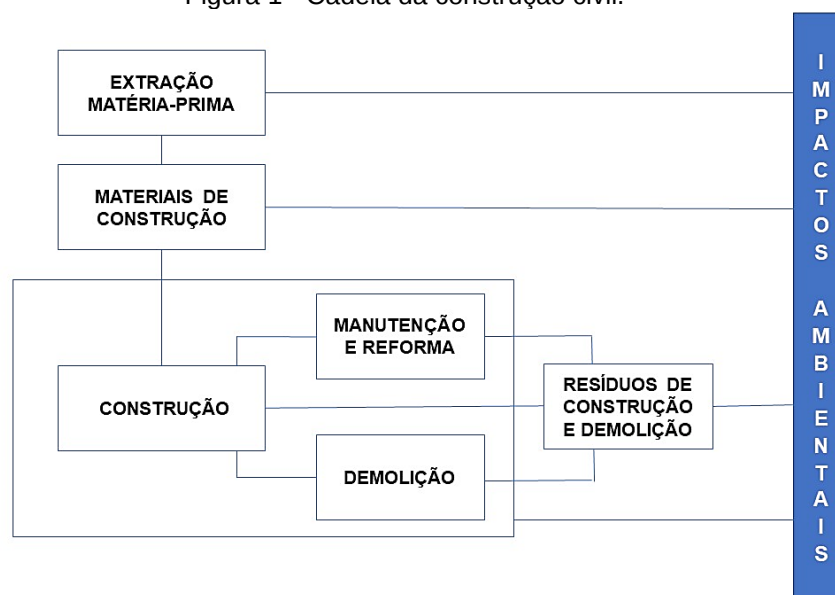
Dessa forma, para minimizar os impactos ambientais da construção civil, Kilbert (1994) propôs os seguintes princípios:

- I. Minimizar o consumo de recursos: gastar mais tempo na fase de planejamento e projetos para otimizar a utilização de materiais e minimizar a produção de resíduos;
- II. Maximizar a reutilização de recursos: reutilizar componentes que ainda possam desempenhar a função para a qual foram produzidos, ou mesmo serem utilizados em outra função;
- III. Usar recursos renováveis e recicláveis: optar por materiais recicláveis ou cujas fontes de matéria-prima sejam renováveis;
- IV. Proteger o meio-ambiente: evitar o uso de materiais cuja extração de matéria-prima cause danos ambientais: aproveitar os recursos naturais para iluminação e ventilação, reusar águas servidas, etc.;
- V. Criar um ambiente saudável e não tóxico: evitar utilização de materiais que podem causar danos tanto ao meio ambiente quanto aos usuários;
- VI. Buscar a qualidade na criação do ambiente construído: projetar utilizando técnicas que permitam uma construção mais econômica, menos poluente e que impacte menos agressivamente no meio-ambiente.

É mister esclarecer, ainda, que o setor da construção civil, responsável por ocasionar grandes impactos ambientais, traz graves consequências desde a extração das matérias-primas para fabricação de seus produtos, posteriormente, a execução dos projetos nos canteiros de obra, e por fim, a destinação final dos resíduos gerados, que ocasionam considerável mudança na paisagem urbana. (BARRETO, 2005).

As etapas do processo construtivo, desde a extração até destinação final dos resíduos, estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Cadeia da construção civil.



Fonte: Adaptado Schneider (2003)

Segundo Karpinsk *et al* (2009), a elevada quantidade de materiais de construção e de atividades realizadas nos canteiros de obras, tem contribuído para o alto índice de resíduos gerados nas áreas urbanas. Na maioria dos casos estes materiais são depositados irregularmente em locais de fácil acesso, como terrenos baldios, encostas de rios, vias e logradouros públicos. Diante disso, segundo o mesmo autor.

“Esses resíduos comprometem a paisagem urbana, invadem pistas, dificultam o tráfego de pedestres e de veículos, como também a drenagem urbana; além de propiciar a atração de resíduos não inertes, com multiplicação de vetores de doenças e degradação de áreas urbanas, o que afeta a qualidade de vida da sociedade como um todo.”
(KARPINSK *et al.*, 2009, p.13).

Desta forma, verifica-se que a excessiva geração de resíduos pela construção civil é um dos principais problemas encontrados nas áreas urbanas. Com isso, tem-se constatado nos últimos anos, incisivas ações do poder público e da iniciativa privada para a redução dessa problemática. Motivados pelo ideal de desenvolvimento sustentável, os órgãos públicos começaram a implantar leis e resoluções visando a redução da geração de resíduos. Cabe ressaltar que no Brasil, somente no ano de 2002, iniciou-se a implementação de políticas públicas para o gerenciamento dos resíduos gerados (BRASILEIRO *et al.*, 2015).

Assim, em 05 de julho de 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do CONAMA, que, em seu Art. 1º, visa “Estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais”. A referida resolução institui a obrigatoriedade dos municípios e do Distrito Federal de elaborarem o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil, com intuito de adequar o manejo e a destinação correta dos resíduos. Diante disso, deverá conter no Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil:

- I. As diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, em conformidade com os critérios técnicos do sistema de limpeza urbana local e para os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil a serem elaborados pelos grandes geradores, possibilitando o exercício das responsabilidades de todos os geradores; (nova redação dada pela Resolução 448/12)
- II. O cadastramento de áreas, públicas ou privadas, aptas para recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, em conformidade com o porte da área urbana municipal, possibilitando a destinação posterior dos resíduos oriundos de pequenos geradores às áreas de beneficiamento;
- III. O estabelecimento de processos de licenciamento para as áreas de beneficiamento e reservação de resíduos e de disposição final de rejeitos
- IV. A proibição da disposição dos resíduos de construção em áreas não licenciadas;
- V. O incentivo à reinserção dos resíduos reutilizáveis ou reciclados no ciclo produtivo;
- VI. A definição de critérios para o cadastramento de transportadores;
- VII. As ações de orientação, de fiscalização e de controle dos agentes envolvidos;
- VIII. As ações educativas visando reduzir a geração de resíduos e possibilitar a sua segregação.

A Resolução CONAMA nº 307, em seu Art. 2º, traz ainda a seguinte definição:

“Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.”

Os resíduos da construção civil são divididos em quatro classes:

- I. **Classe A:** são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como materiais cerâmicos, tijolos, azulejos, blocos, telhas, argamassa, concreto, placas de revestimento e solos resultantes de obras de terraplanagem.
- II. **Classe B:** são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
- III. **Classe C:** são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- IV. **Classe D:** são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Em 2 de agosto de 2010, foi instituída a Lei nº 12.305, referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos, abordando os seus princípios, objetivos e instrumentos. Nessa lei, elencou-se também as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos; às responsabilidades dos geradores e do poder público; e aos instrumentos econômicos aplicáveis. A referida lei se aplica às pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos.

De forma a contribuir com a referida Lei, a Resolução CONAMA nº 307/02 estabeleceu que os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil,

deverão ser aprovados pelos órgãos competentes, e, portanto, deverão atender as seguintes etapas:

- I. **Caracterização:** nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- II. **Triagem:** deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas no art. 3º desta Resolução;
- III. **Acondicionamento:** o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;
- IV. **Transporte:** deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
- V. **Destinação:** deverá ser prevista de acordo com o estabelecido nesta Resolução (CONAMA nº 307/02).

Observa-se, pois, que, diante da problemática apresentada, tem-se buscado soluções para reduzir o impacto ambiental causado pelo setor construtivo, que está em constante crescimento. John (2000) afirma que a redução do impacto ambiental da construção civil é uma tarefa difícil, logo, necessário se faz abordá-lo em várias frentes, de forma simultânea e combinada. Dessa forma, a implementação de políticas públicas e a responsabilização dos agentes geradores de resíduos são de suma importância para a eficácia do gerenciamento dos resíduos, de modo a contribuir para o desenvolvimento sustentável do presente setor.

5.2 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA

5.2.1 O solo

O solo pode ser definido como um material natural presente na crosta terrestre, oriundo da decomposição das rochas através de agentes físicos, químicos ou biológicos, constituído por elementos minerais e/ou orgânicos (ABNT, 1995; ORTIGÃO, 2007; NEVES *et al*, 2010). Conforme Ortigão (2007), os solos são

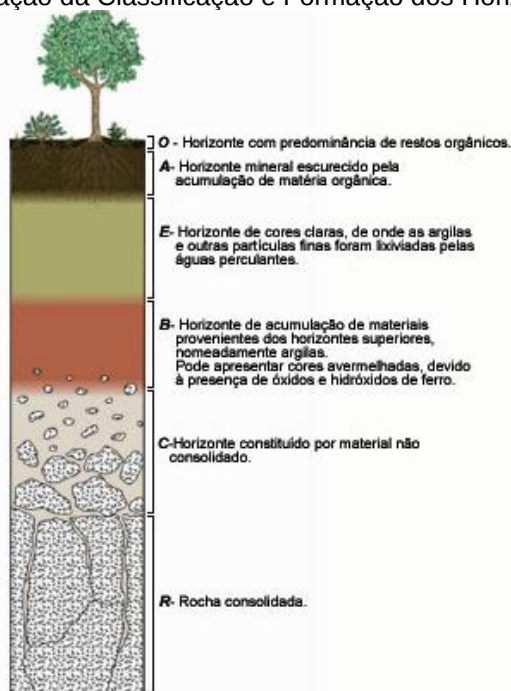
definidos conforme cada área de atuação profissional. Diante disso, na engenharia civil, de acordo com Ortigão (2007) os solos são definidos como:

“(...) um aglomerado de partículas provenientes de decomposição da rocha, que podem ser escavados com facilidade, sem o emprego de explosivos, e que são utilizados como material de construção ou de suporte para estruturas”

Para a utilização no setor da construção civil, as propriedades mais importantes na fase de seleção são a composição granulométrica, plasticidade e retração e na fase de execução, a umidade e o grau de compactação. O solo pode receber classificações distintas, de acordo, com as diferentes áreas de estudo e de utilização. Tais classificações, são decorrentes de suas características genéticas, granulométricas e pedológicas (NEVES *et al.*, 2010).

A classificação genética relaciona-se à formação do solo, sendo ele dito residual, quando o solo está sobrejacente à rocha de origem, e sedimentar ou transportado, quando suas partículas não estão sobre a rocha de origem, portanto, sofreram algum tipo de transporte por meio da ação da água, chuva ou gravidade. As características de formação do solo correlacionam-se com o desenvolvimento dos horizontes do solo, que se distinguem entre si devido ao grau de exposição ao processo de intemperismo (NEVES *et al.*, 2010). A classificação e formação do solo quanto aos horizontes pedológicos é esquematizado na Figura 2.

Figura 2 - Esquematização da Classificação e Formação dos Horizontes Pedológicos.



Fonte: Ohar da Natureza (2010)

Segundo a classificação granulométrica, os solos são agrupados e designados de acordo com as dimensões de suas partículas. Tais grupos ou faixas de dimensões, dispõe de características próprias que apontam seu comportamento como material de construção (NEVES et al., 2010). Conforme a Tabela 1, é apresentada a classificação granulometria das partículas de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas.

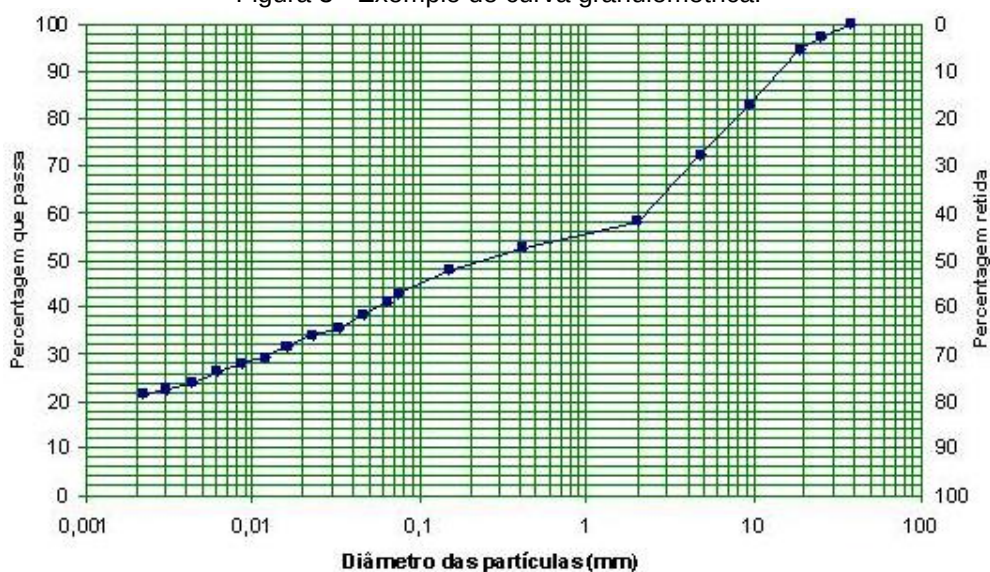
Tabela 1 - Classificação granulométrica – Dimensão dos grãos.

Nome	Peneira passante (mm)	Peneira retido (mm)
Pedregulho	60,0	2,00
Areia	2,00	0,06
Areia Grossa	2,00	0,60
Areia Média	0,60	0,20
Areia Fina	0,20	0,06
Silte	0,06	0,002
Argila	0,002	-

Fonte: Adaptado da NBR 6502 (ABNT, 1995)

A composição granulométrica do solo é comumente representada através da curva de distribuição granulométrica, que relaciona a quantidade e a dimensão das partículas presentes (Figura 3).

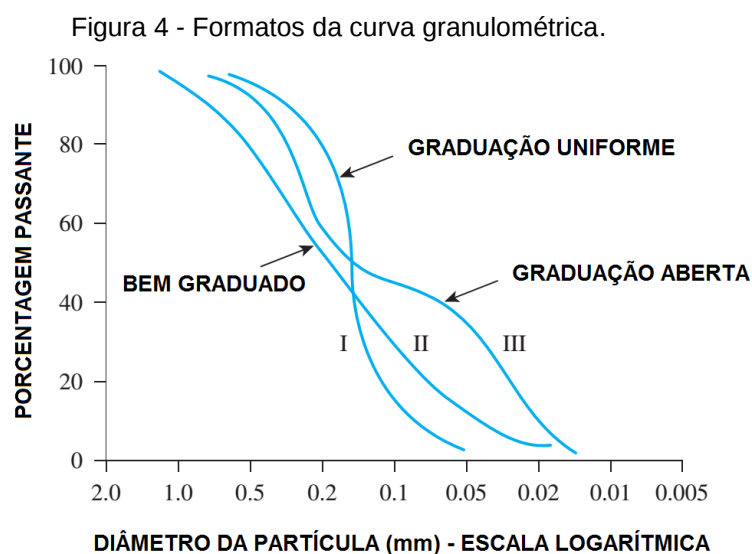
Figura 3 - Exemplo de curva granulométrica.



Fonte: Varela (2018)

Para determinação da curva granulométrica, são efetuados dois ensaios: o ensaio de peneiramento para as partículas grossas (pedregulho e areia) e o ensaio de sedimentação para as partículas finas (silte e argila). O processo de peneiramento consiste em determinar o percentual das partículas que passam ou que são retidas em peneiras de aberturas normatizadas, e no ensaio de sedimentação é medida a velocidade de decantação das partículas (NEVES *et al.*, 2010).

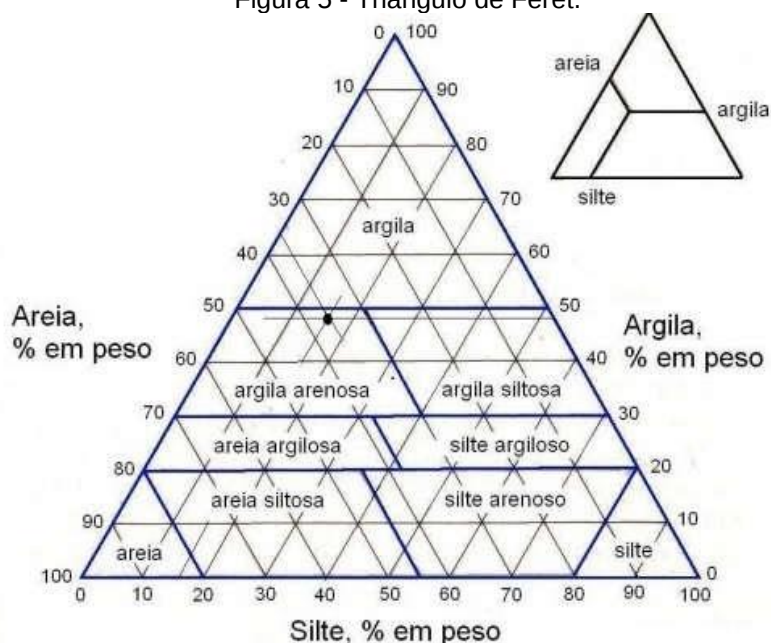
Por meio da curva granulométrica, também é possível identificar o tipo de distribuição de partículas de variados tamanhos. A curva I, conforme mostrado na Figura 4, representa um solo uniforme (malgraduado), apresentando partículas de mesmo tamanho. Na curva II, nota-se a presença de um solo bem graduado (ou desuniforme), partículas de diferentes granulometrias. A curva III representa um solo de graduação aberta (descontínua), duas ou mais frações com granulação uniforme (DAS, 2011).



Fonte: Das (2011)

Através do conhecimento sobre distribuição granulométrica do solo, é possível determinar a textura dos solos, parâmetro essencial para definir o potencial de compactação, da disponibilidade de água, da aeração, da condutividade do solo ao ar, à água e ao calor, da infiltração e da redistribuição de água (PREVEDELLO, 1996 apud SILVA *et al.*, 2004). A classificação granulométrica pela textura do solo pode ser feita pelo diagrama triangular de Feret (Figura 5), complementando assim, a análise granulométrica. Dessa forma, obtém-se a classificação entrando no gráfico com a porcentagem das frações de areia, silte e argila e encontra-se a localização de um ponto em uma classe específica (ALMEIDA, 2005).

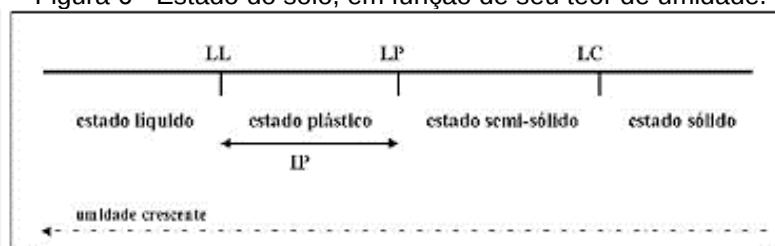
Figura 5 - Triângulo de Feret.



Fonte: Viana (2016)

De acordo com o grau de umidade, o solo pode ser classificado como líquido, plástico ou sólido, como mostrado na Figura 6. A quantidade de água presente no solo influencia nitidamente na variação do seu aspecto e da sua consistência e, principalmente das argilas presentes (ORTIGÃO, 2007; NEVES *et al.*, 2010).

Figura 6 - Estado do solo, em função de seu teor de umidade.

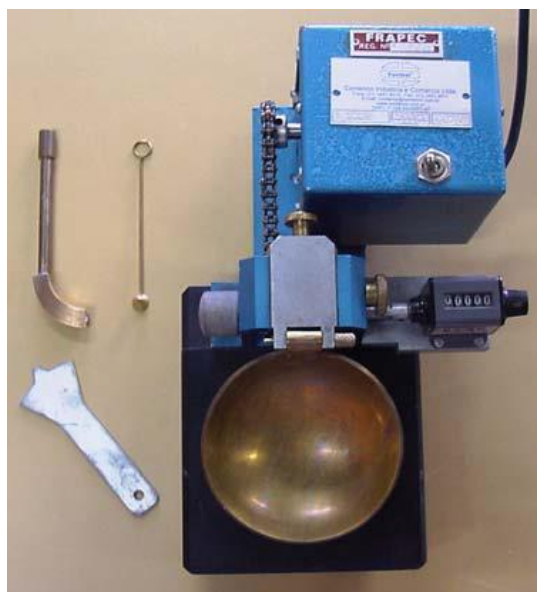


Fonte: Krainer (2016)

Os ensaios de limite de liquidez (LL) e limite de plasticidade (LP) são realizados para a caracterização dos estados de consistência. A plasticidade do solo pode ser definida como a maior ou menor capacidade de ser moldado, diante de condições de umidade sem variação do volume. O limite de plasticidade é o teor de umidade do solo na mudança do estado plástico para o estado semi-sólido, e o limite de liquidez, o teor de umidade do solo na mudança do estado líquido para o estado plástico. A determinação desses parâmetros é feita na fração fina do solo, sendo o material passante na peneira de abertura 0,42 mm (ORTIGÃO, 2007; NEVES *et al.*, 2010).

O ensaio para determinação do LP consiste em obter o grau de umidade em que o solo começa a fraturar-se, quando este é deslizado sobre uma placa de vidro, até formar um cordão com 3 mm de diâmetro e aproximadamente de 12 a 15 cm de comprimento. A determinação do LL é feita com o auxílio do aparelho de Casagrande (Figura 7), que consiste em uma concha metálica associada a uma manivela, que a move e faz esta cair sobre uma base sólida com uma altura padrão de 1 cm (ORTIGÃO, 2007; NEVES *et al.*, 2010).

Figura 7 - Aparelho Casagrande.



Fonte: Alves (2011)

O procedimento consiste na aplicação de golpes até o fechamento de cerca 1 cm de uma ranhura, feita anteriormente no solo colocado na concha seguindo procedimentos específicos. O limite de liquidez é definido como o teor de umidade necessário para que a ranhura se feche com a aplicação de 25 golpes (ORTIGÃO, 2007; NEVES *et al.*, 2010). No Brasil, os procedimentos para a determinação do LL e LP são regulamentados pelas normativas NBR 6459 (ABNT, 2016a) e NBR 7180 (ABNT, 2016b), respectivamente.

O índice de plasticidade (IP) é definido como a diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade. Os limites de liquidez e de plasticidade frequentemente, dependem da quantidade e do tipo de argila presente no solo, enquanto, o índice de plasticidade depende unicamente da quantidade de argila (ORTIGÃO, 2007; NEVES *et al.*, 2010). Uma relação entre granulometria, índice de plasticidade e limite de liquidez é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos solos, em função do IP e LL.

Tipo de solo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Siltoso	5 a 25	20 a 50
Argiloso	>20	>40

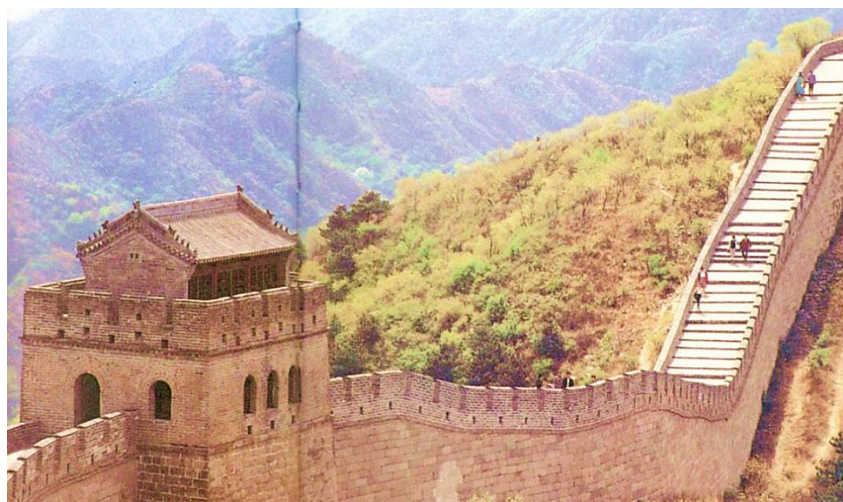
Fonte: Adaptado da CRATERRE (1979) apud Neves e Faria (2011)

5.2.2 Solo como material construtivo

O solo é um material empregado em soluções arquitetônicas desde os primórdios da humanidade. Isto se deve à sua facilidade de obtenção e manuseio, sua abundância e seu baixo custo. Assim sendo, configura-se como um material com diversas aplicações no setor construtivo.

A eficiência desses materiais é comprovada através de construções que datam vários séculos, as quais resistem às intempéries e preservam sua estabilidade estrutural (GRANDE, 2003). Dentre essas construções, estão a cidade bíblica de Jericó, na Palestina, construída há 10000 anos; a Catal Huyuk, na Turquia; Akhet-Aton, no Egito; e Chan Chan, no Peru. Na antiguidade, também se tem registro da durabilidade e utilização do solo na construção da Grande Muralha da China (Figura 8), no ano de 3000 a.C. Nesta última, utilizou-se em seu processo construtivo a técnica da terra batida e, posteriormente, foi coberta por tijolos e pedras (TAVEIRA, 1987; LOPES, 2002; MINKE, 2000 apud SILVA, 2005).

Figura 8 - A Grande Muralha da China.



Fonte: Sousa (2002)

A utilização de técnicas de construção com terra crua no Brasil foi introduzida pelos portugueses e pelos escravos africanos durante o período colonial, uma vez que os índios não a utilizavam. Vislumbra-se como exemplos dessas construções as realizadas no estado de São Paulo, no Planalto de Piratininga, e nos caminhos dos bandeirantes até Minas Gerais, Mato Grosso e Goiás (TAVEIRA, 1987; LOPES, 2002; MINKE, 2000 apud SILVA, 2005).

Um dos problemas enfrentados por essa técnica, desde a antiguidade até a atualidade, são as infiltrações de água. Sendo assim, as edificações de terra crua não devem estar em contato com a umidade do solo, sendo elevadas do chão ou empregando um alicerce, corretamente impermeabilizado (PINTO, 1993; SOUZA, 1996).

As construções de terra crua apresentam um bom desempenho energético. A condutibilidade térmica das paredes de terra crua representa à metade da condutibilidade das paredes feitas de tijolo cozido, conservando de forma constante a temperatura interna da edificação. Isso ocorre, devido as paredes de terra crua serem um bom isolante térmico que impedem as trocas de ar com o exterior, impedindo a entrada de calor (BUENO, 1995 apud SILVA, 2000; MILECH et al., 2011).

Segundo Silva (2000) e Carvalho (2012), as paredes de terra crua precisam de espessuras menores (9,5 cm) para obter o mesmo índice de isolamento térmico em relação a paredes de tijolo cozido (19,8 cm), sendo que, a adição de fibras vegetais à mistura de barro aumenta a capacidade de isolamento térmico. Com isso, as construções com terra crua além de apresentarem eficiência energética são mais leves e mais esbeltas.

Dentre os métodos construtivos com a utilização de solos podem ser citados como principais exemplos o adobe, a taipa de pilão, o pau a pique e o bloco de terra comprimida. O adobe é um método construtivo com simples confecção e construção, considerado uma das técnicas de construção com terra mais antigas, sendo fundamental para a constituição da base da arquitetura mesopotâmica e egípcia, na construção de arcos e domos (LOURENÇO, 2002; TORGAL et al., 2009; SANTOS, 2015).

O termo adobe vem do árabe “*attob*” e quer dizer tijolo seco ao sol. A técnica baseia-se em moldar o tijolo cru, sem a necessidade de compressão, com o auxílio de formas de madeira, logo após, é desenformado e colocado para secar ao sol.

Dessa forma, não necessitando de processos de queima. Posteriormente, são utilizados na execução de alvenarias, sendo ligados por uma argamassa semelhante a mistura do adobe (ROGERS; SMALLEY, 1995; MORETT, 2003; NEVES; FARIA, 2011). Silva (2000), propõe que os tijolos devem ser dispostos no chão e seque sem encostar um no outro.

Devido ao seu comportamento plástico, o adobe pode ser moldado em diferentes formas no processo construtivo (ortogonais, curvas, esbeltas, desde que atenda sua resistência à compressão (NEVES; FARIA, 2011). Na figura 9, pode-se observar a moldagem dos tijolos de adobe.

Figura 9 - Moldagem de tijolos de adobe.



Fonte: Arquivo pessoal (2019)

O adobe, é composto de solo e água, que são posteriormente misturados até adquirir uma mistura plástica. Pode-se também acrescentar estabilizantes como a cal, a areia ou o cimento, em quantidades inferiores ao teor de argila do solo, quando os critérios mínimos de segurança e habitabilidade dessa mistura não sejam atingidos. (MORETT, 2003; CORRÊA, 2013).

Segundo Neves e Faria (2011), essa técnica demanda a utilização de um solo areno-argiloso com pouco silte. A presença de muita argila no solo pode levar o aparecimento de fissuras no adobe ao secar, assim como, o elevado teor de areia ou silte pode ocasionar a falta de coesão interna necessária e, dessa forma, levar o tijolo à desagregação e a redução da resistência à compressão.

Dessa forma, quando um solo adequado está disponível próximo ao local da obra, essa técnica se torna de baixo custo, devido a economia no transporte. A técnica de adobe não requer mão-de-obra especializada, pois sua manipulação não acarreta perigo, possui excelente conforto térmico e não consome energia durante sua fabricação. Além de economizar sessenta vezes o consumo de água para sua produção em relação ao cimento (CORRÊA *et al.*, 2006; CARVALHO *et al.*, 2010).

Taipa de pilão ou simplesmente “taipa” é um sistema construtivo no qual o solo é colocado em camadas entre tábuas (taipal) e estabilizado por compactação (Figura 10), através da utilização de pilões ou compactadores mecânicos, podendo ainda incluir a adição de um aglomerante que melhore as características físicas e químicas do material. Comumente emprega-se solo arenoso com umidade adequada para compactação, originando-se parede de acabamento refinado, dependendo das condições das fôrmas (HOFFMANN, 2017; NEVES e FARIA, 2011; BOUTH, 2005; GRANDE, 2003).

“A taipa de pilão (pise) é um processo pelo qual se podem construir casas com terra, sem o apoio de qualquer peça de madeira, e sem misturar palha ou cascas. Consiste em se compactar, camada por camada, entre pranchas de madeira, à espessura das paredes comuns, terra preparada para este efeito. Assim batida, a terra liga-se, toma consistência e forma uma mistura homogênea que pode ser elevada a todas as alturas usuais para habitações” (PIGNAL, 2005 apud SANTOS, 2015, p. 98).

Figura 10 - Compactação do solo.



Fonte: Virtuhab (UFSC, 2014)

Pau a pique ou taipa de mão, é um sistema construtivo de paredes de vedação, em que se realiza a combinação do solo, palhas, fibras, e um entreamado de madeira, bambu, varas, e eventualmente estabilizantes. Dessa forma, devido à combinação de terra com estruturas vegetais, essa técnica é também chamada de técnica mista pela Rede Ibero-americana (SANTOS, 2015; MORETT, 2003; GRANDE, 2003).

Segundo Morett (2003), a técnica de pau a pique consiste em “uma trama com sarrafos de madeira, em que os espaços são preenchidos com uma mistura de terra muito argilosa e palha ou fibras vegetais, até completar todo o fechamento”. Assim, são cravados no solo galhos verticais nos quais são amarrados ou encaixados galhos, horizontalmente, formando assim, um quadro que posteriormente será preenchido por solo (PROMPT, 2008). Na figura 11, é possível observar a aplicação da mistura na estrutura vegetal.

Figura 11 - Aplicação do barro na estrutura vegetal.



Fonte: HENRY (2018)

O Bloco de Terra Compactada (BTC) originou-se no início do século XX, sendo considerado uma evolução da técnica do adobe. A técnica consiste na prensagem ou compactação mecânica do solo em um molde e, posterior desmolde. Esse processo, confere aos blocos maior resistência e durabilidade em relação ao adobe, pois, a aplicação da carga de compactação reduz o número de vazios e a porosidade da matriz (TORGAL *et al.*, 2009; NEVES e FARIA, 2011).

A adição de aglomerantes ou a mistura de diferentes tipos de solo permite melhorar as características físico-mecânicas do BTC, como resistência à compressão e à ação abrasiva de ventos, impermeabilização e durabilidade (TORGAL *et al.*, 2009; NEVES e FARIA, 2011).

O processo de confecção do BTC é realizado com o auxílio de uma prensa (manual ou hidráulica), permitindo a fabricação de blocos maciços ou perfurados, com diversas dimensões, mais resistentes, porém, mais pesados que o adobe. O BTC pode ser utilizado tanto como alvenaria de vedação quanto em alvenaria estrutural, desde que respeitem às exigências de projeto. Além disso, os BTC são de fácil fabricação e execução e, apresentam regularidade das dimensões (TORGAL *et al.*, 2009; NEVES e FARIA, 2011). Na figura 12, observa-se a construção de alvenarias utilizando a técnica de BTC.

Figura 12 - Construção de alvenarias com a utilização de BTC.



Fonte: Torgal *et al.* (2009)

Para confecção de BTC com adição de cimento, Neves e Faria (2011) recomenda utilizar um solo arenoso com as seguintes características:

- 100% passando na peneira 4,8 mm;
- 50% a 95% de areia desuniforme (ou granulometria contínua, composta de areia grossa, média e fina), pois os grãos maiores são preenchidos por partículas menores do próprio solo;

- $LL \leq 45\%$ e $IP \leq 18\%$, pois solos com índices de plasticidade e limites de liquidez elevados são mais difíceis estabilizar. Contudo, a plasticidade é necessária para transmitir aos blocos produzidos a coesão suficiente para que possam ser manuseados (ABCP, 1985).

Atualmente, os tijolos de adobe e os BTC vem sendo conhecidos como tijolos ecológicos devido ao fato de não necessitar de processos de queima de madeira e combustíveis, diferenciando-se do tijolo cerâmico convencional. Diante disso, promove a redução do desmatamento e a emissão de monóxido de carbono na atmosfera. Além de, proporcionar economia de energia, conforto térmico e acústico, devido suas características isolantes. (PISANI, 2005; MOTTA *et al.*, 2014).

5.3 TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO DE SOLOS

A estabilização dos solos é uma técnica com o intuito de melhorar as propriedades do solo, em termos de resistência mecânica, permeabilidade, fissuração, resistência à erosão e abrasão superficial, e durabilidade, através de processo físicos, químicos ou físico-químico (INGLES; METCALF, 1972 apud CANEPPELE, 2016; GRANDE, 2003; VEIGA, 2008). De acordo com Silva (1968) apud Machado *et al.* (2005) e Goularte e Pedreira (2009), utiliza-se a natureza da energia transmitida ao solo como parâmetro para classificar as técnicas de estabilização, isso ocorre, devido as diferenças e igualdade nos métodos e ferramentas utilizados para estabilizar o solo. Desta forma, os principais métodos de estabilização do solo, segundo Goularte e Pedreira (2009), são: mecânica, granulométrica, elétrica, térmica e química.

A estabilização mecânica ou estabilização por compactação, tem por finalidade à correção do solo, através de processos de compactação e, com isso, conferir ao solo uma condição de densidade máxima relativa a uma energia de compactação e a uma umidade ótima. Dessa forma, minimizando a porosidade do solo decorrente da aplicação de sucessivas cargas. É uma técnica amplamente utilizada na execução das camadas de pavimentos (GRANDE, 2003; VEIGA, 2008; GOULARTE; PEDREIRA, 2009; SARTORI, 2015).

O método de estabilização granulométrica, está relacionado a adição ou retirada de partículas do solo, de forma, a alterar suas propriedades. Para isso, é realizada a aplicação de um material ou na mistura de dois ou mais materiais para

obter um novo material com características apropriadas para projetos de engenharia (GOULARTE; PEDREIRA, 2009; SARTORI, 2015).

A técnica de estabilização elétrica baseia-se na passagem de uma corrente elétrica no solo. Para o adensamento de solos arenosos saturados são utilizadas descargas contínuas de alta tensão, enquanto, para solos argilosos são empregados fenômenos de eletrosmose, eletroforese e consolidação eletroquímica (VEIGA, 2008; GOULARTE; PEDREIRA, 2009).

A estabilização térmica é realizada por meio da utilização da aplicação de energia térmica através de congelamento, aquecimento ou termosose. O congelamento altera temporariamente a textura do solo, o aquecimento redefine a rede cristalina dos minerais do solo, e a termosose propicia em um meio poroso a difusão de um fluido pela ação de gradientes de temperatura (VEIGA, 2008; GOULARTE; PEDREIRA, 2009).

Dentre os métodos de estabilização de solos, a técnica de estabilização química tem sido considerada mais prática e eficiente. Neste método, é realizada a adição de substâncias químicas, cimentantes ou não, ao solo, de forma, a proporcionar melhorias nas características de resistência mecânica, permeabilidade e deformabilidade (SANTOS, 2013; PATRICIO, 2015).

A estabilização química pode ocorrer pela substituição das moléculas de água e cátions adsorvidos por cátions hidrorrepelentes, estabelecimento de ligações de cimentação entre agregados de partículas pela adição de ligantes, floculação e dispersão de partículas (MACHADO *et al.*, 2005). Os agentes químicos, de acordo com Mainford (1955) apud Machado *et al.* (2005), envolvem as partículas de solo tornando-as hidrofóbicas, não afetando a resistência do solo seco, mas, conservando-a na presença de umidade devido à redução da absorção de água.

De acordo com Machado *et al.* (2005), o agente dispersante aumenta a força de repulsão entre as partículas, por meio do aumento de suas propriedades eletronegativas ou através dos aumentos da espessura da membrana de água que as envolvem. Os materiais mais utilizados como dispersantes são os fosfatos, sulfonatos e versanatos. Os agentes agregantes, aglomerantes ou floculantes (cimento e cal), favorecem a coesão entre as partículas, ocasionando à formação de flóculos. Dessa forma, formando ligações reforçadas entre os agregados de partículas menores e

favorecendo a formação de agregados maiores, contribuindo dessa forma, para o aumento da resistência.

Dentre os métodos de estabilização química, tem-se o solo-cimento, o solo-cal, o solo-betume, o solo-resina, a estabilização com cinzas volantes e escórias de alto forno, a estabilização com o utilização de sais (cloretos, ácido fosfórico), lignina, silicatos de sódio, aluminatos de cálcio, sulfatos de potássio, óxidos de ferro, cinzas pozolânicas de turfas e restos de atividade agrícola (palha de arroz, casca de arroz, casca de amendoim, bagaço de cana-de-açúcar etc.), além de materiais vegetais (partículas de madeira, sobras de papel, polpa de celulose, etc.) (SANTOS, 2013).

5.3.1 Solo Cimento

A técnica de estabilização do solo-cimento é constituída da mistura do solo, cimento Portland e água. Após essa mistura ser submetida a esforços de compactação, na maioria dos casos, apresenta estabilidade e resistência mecânica necessárias para poder ser empregada no setor construtivo (ABCP, 1986).

Com isso, a partir da realização de pesquisas sobre a estabilização do solo com o cimento, o mesmo passou a ser utilizado na pavimentação de estradas (na construção de bases e sub-bases) no Brasil a partir de 1940. Além disso, também passou a ser aplicado em passeios para pedestres, habitação (tijolos, blocos, lajotas, paredes monolíticas), quadras esportivas e revestimento de barragens (GRANDE, 2003; MORETT, 2003; MILANI, 2005; MARQUES, 2006).

No processo de fabricação do solo cimento como elemento construtivo, o solo seco é destorroado, peneirado e posteriormente é realizada a mistura dos materiais. Nesta, é adicionado o cimento e água em quantidades determinadas e analisadas, através de ensaios laboratoriais, resultando na mistura conhecida como solo-cimento. Logo após, é realizado o lançamento e quando conveniente a prensagem da mistura, com o auxílio de prensas manuais ou mecânicas. Depois desse processo o material obtido é colocado à sombra para o processo de cura da mistura, que é de suma importância para a qualidade do material. Através do processo de cura, ocorrem as reações de hidratação do cimento, que resultam em uma massa firme e resistente. No entanto, se não ocorrer de forma adequada a hidratação do cimento, não haverá um desenvolvimento satisfatório de resistência, pois uma parcela do cimento ficará anidro (MORETT, 2003; GRANDE, 2003; MILANI, 2005; NEVILLE, 2016).

Os cimentos são materiais com propriedades adesivas e coesivas, que lhe conferem a capacidade de unir fragmentos minerais na forma de uma unidade compacta. Na indústria da construção civil, os cimentos são utilizados como materiais aglomerantes empregados com pedras, tijolos, blocos para alvenaria e areia. Sendo, de interesse da ICC os cimentos constituídos, principalmente, de compostos à base de calcário (NEVILLE, 2016).

Desde a antiguidade, têm-se relatos da utilização dos materiais cimentícios pelos Egípcios, Gregos e Romanos. Os Romanos moíam a cal juntamente com a cinza vulcânica, dando origem a um material aglomerante devido as reações entre a cinza (presença de sílica e alumina) e a cal (NEVILLE, 2016). A união desses compostos, originaram o “cimento pozolânico”. Sendo, a pozolana presente no cimento conhecida como:

[...] um material silicoso ou sílico-aluminoso que em si mesmo possui pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas numa forma finamente dividida e na presença de umidade, reage quimicamente com hidróxido de cálcio a temperaturas ambientes para formar compostos com propriedades cimentantes (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

A partir do século XVII, os conhecimentos sobre o cimento avançaram. Primeiramente, em 1756, o encarregado John Smeaton, percebeu que a mistura de pozolana e calcário com alto teor de argila gerava uma argamassa de qualidade superior. Sendo o primeiro a constatar as propriedades químicas da cal hidráulica. Posteriormente, surgiram outros cimentos, como o “cimento Romano” (calcinação de nódulos de calcário argiloso), até resultar na patente para “cimento Portland” (NEVILLE, 2016).

Os cimentos Portland, são obtidos através da moagem e de um composto de materiais calcários e argilosos. Além de, materiais com a presença de sílica, alumina e óxidos de ferro. Após a moagem, ocorre a queima dessa mistura em grandes fornos rotativos, até atingir a temperatura de cerca de 1.450 °C, para formar os clínques. Depois, que o clínquer é resfriado adiciona-se um baixo teor de sulfato de cálcio. Finalmente, este material é moído até se tornar pó, resultando no cimento Portland (NEVILLE, 2016). A importância do clínquer, segundo a ABCP (2002), é devido:

[...] a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade. Essa característica adquirida pelo clínquer, que faz dele um ligante hidráulico muito resistente, é sua propriedade mais importante (ABCP, 2002, p. 6)

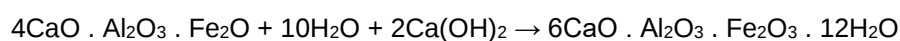
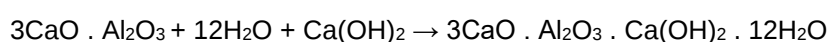
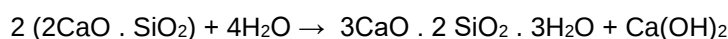
Os cimentos Portland (CP) são cimentos hidráulicos, ou seja, ganham resistência devido as reações de hidratação. Segundo Pereira (2012) os componentes principais do CP são: Silicato Tricálcico ou alita ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), Silicato Dicálcico, ou belita ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), Aluminato Tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), Ferro aluminato Tetracálcico, ou ferrita ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Segundo Mehta e Monteiro (2000) o percentual dos componentes básicos do CP, são descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Percentual dos componentes presentes no CP.

Componente	Composição em óxidos	Abreviatura empregada na química de cimento	Percentual (%)
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	35 a 65
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	10 a 40
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	0 a 15
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	5 a 15

Fonte: Adaptado de Mehta e Monteiro (2000).

Segundo Pereira (2012), inicialmente, quando a água entra em contato com o CP, podem ser observadas as seguintes reações:



- I. Na primeira reação, o silicato tricálcico (C_3S) é responsável pela resistência inicial nos primeiros dias, proporciona um alto desprendimento de calor, liberando cerca de 40% em massa de hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).
- II. O silicato dicálcico (C_2S) proporciona resistência em idades mais avançadas, desprendendo baixo calor e produz cerca de 18% em massa do hidróxido de cálcio.

- III. O aluminato tricálcico (C_3A) reage inicialmente, logo nos primeiros minutos da hidratação liberando grande calor, propicia pouca resistência e é responsável por grande retração.
- IV. O ferroaluminato tetracálcico (C_4AF) tem reação bastante lenta, e desenvolve uma parcela pequena na resistência, mas é importante quanto à resistência ao ataque por sulfatos.

Segundo ABCP (2002), os cimentos distinguem-se conforme a proporção de clínquer, sulfatos de cálcio (gesso), pozolanas, entre outros materiais que podem ser acrescidos no processo de moagem. Além de, diferenciar-se em relação a cor e resistência etc. (SARTORI, 2015). No Brasil, são fabricados cinco tipos de CP, que apresentam a seguinte nomenclatura: Cimento Portland Comum (CP I); Cimento Portland Comum com adição (CP I-S); Cimento Portland Composto com Escória (CP II – E); Cimento Portland Composto com Pozolana (CP II – Z); Cimento Portland Composto com Filer (CP II – F); Cimento Portland de Alto Forno (CP III); Cimento Portland Pozolânico (CP IV); Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI). A Tabela 4 apresenta a composição dos cimentos Portland comuns e compostos.

Tabela 4 - Composição dos cimentos Portland comuns e compostos.

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma Brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (E)	Material pozolânico (Z)	Material carbonático (F)	
Comum	CP I	100	-	-	-	NBR 5732
	CP I-S	99-95	1-5	1-5	1-5	
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	

Fonte: Adaptado ABCP (2002)

Além desses tipos de cimentos, existe o cimento de alta resistência inicial, cimento resistente aos sulfatos (RS), cimento branco, cimento de baixo calor de hidratação e cimento para poços petrolíferos. O cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI) tem a característica de atingir altas resistências em poucos dias de aplicação. O cimento resistente aos sulfatos permite resistência em meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos, água do mar e alguns tipos de solo. O cimento de baixo calor

de hidratação são cimentos com evolução lenta do calor, com o intuito de reduzir a temperatura nas estruturas de maior volume e, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras. O cimento Portland Branco, difere-se dos demais pela coloração, sendo aplicado principalmente em elementos arquitetônicos. O cimento para poços petrolíferos (CPP), devem garantir que a plasticidade do cimento não sofra alterações diante de elevadas pressões e temperatura presentes a grandes profundidades (ABCP, 2002).

Segundo a ABCP (2002), os cimentos Portland compostos correspondem a 75% da produção industrial brasileira, sendo dessa forma, os mais encontrados no mercado. Para a estabilização dos solos, usualmente, são utilizados cimentos conforme a disponibilidade no comércio de material de construção. Essa condição pode ser observada nas pesquisas realizadas por Milani (2008), que utilizou o cimento Portland CP III-RS-32 (cimento de Alto-Forno resistente a sulfatos) devido à sua maior disponibilidade no comércio. Bem como, Vessozi (2016), que utilizou o cimento Portland CP IV-32-RS e Santos (2009) que utilizou o cimento Portland CP II-E-32.

De acordo com Medina (1987), pode-se dividir a estabilização por cimento em: solo-cimento, solo modificado ou melhorado com cimento e solo-cimento plástico. O solo cimento é um material endurecido pela cura de uma mistura íntima compactada mecanicamente com solo pulverizado, cimento Portland e água, sendo esse endurecimento avaliado por critérios de durabilidade e resistência à compressão simples de corpos de prova. Normalmente é utilizado como base ou sub-base de pavimentos.

Solo modificado ou melhorado com cimento é um material não endurecido ou semiendurecido que é julgado pela alteração das propriedades índices (granulometria, limites de consistência, peso específico, etc.) e/ou capacidade de suporte do solo. Utiliza-se um teor baixo de cimento que não deve ser maior que 5%. Pode ser utilizado como base, sub-base ou reforço de subleito de pavimentos. O Solo-cimento plástico se difere do solo cimento, por ser utilizada uma quantidade maior de água durante a mistura, de forma a produzir uma consistência de argamassa na ocasião da colocação. É utilizado para revestimento de valas, canais e taludes (MEDINA, 1987).

Dessa forma, segundo Marques (2006), os principais fatores que influenciam a estabilização do solo-cimento são:

- I. **Tipo de solo:** todo solo pode ser estabilizado com cimento, porém os solos arenosos (granulares) são mais eficientes que os argilosos por exigirem baixos teores de cimento.
- II. **Presença no solo de materiais nocivos ao cimento:** a presença de matéria orgânica no solo afeta a hidratação do cimento principalmente devido à absorção dos íons de cálcio, resultando uma queda no pH da mistura.
- III. **Teor de cimento:** a resistência da mistura solo-cimento aumenta linearmente com o teor de cimento, para um mesmo tipo de solo. O teor de cimento depende do tipo de solo, quanto maior a porcentagem de silte e argila, maior será o teor de cimento exigido.
- IV. **Teor de umidade da mistura:** as misturas solo-cimento exigirão um teor de umidade que conduza a uma massa específica seca ²máxima, para uma dada energia de compactação. O acréscimo de cimento ao solo tende a produzir um acréscimo no teor de umidade e um decréscimo na massa específica seca máxima, devido a ação floculante do cimento.
- V. **Operações de mistura e compactação:** a demora de mais de duas horas entre a mistura e a compactação pode trazer significantes decréscimos tanto na massa específica seca máxima quanto na resistência do produto final.
- VI. **Tempo e condições de cura:** como no concreto, a mistura solo-cimento ganha resistência por processo de cimentação das partículas durante vários meses ou anos, sendo o ganho mais significativo nos 28 dias iniciais. Nos países de clima quente pode-se empregar um teor de cimento menor para atingir a mesma resistência à compressão que seria alcançada em um país de clima frio.

A estabilização do solo com o cimento é a técnica mais utilizada, pois proporciona ao solo melhor durabilidade e resistências físico-mecânicas para utilização como material de construção. Dessa forma, as principais vantagens da

² Massa específica seca: é a razão entre a massa do solo seca e seu respectivo volume (DAS, 2011).

utilização do cimento no solo são: estabilização das variações volumétricas decorrentes da absorção e perda da umidade, não deterioração quando submerso em água, possui resistência à compressão comparável ao tijolo cerâmico e possui durabilidade quando exposto às intempéries (MORETT, 2003).

Diante dessas variáveis diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de introduzir materiais que melhorem o desempenho do material, como aditivos químicos, resinas ou mesmo resíduos de diversos setores. No que se refere aos resíduos, além da melhoria de desempenho do material, a adição de resíduos em matrizes solo-cimento no intuito de obter elementos construtivos também visa reduzir o impacto ambiental causado por estes resíduos e pela própria construção civil (MORETT, 2003).

5.4 RESÍDUOS UTILIZADOS NA CONFECÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS

Os tijolos ecológicos são uma alternativa sustentável no setor da construção civil, pois além de ser um material que se utiliza de uma matéria prima abundante (o solo), apresenta baixo custo e não necessita de processos de queima. Além de, permitir a incorporação de resíduos de diversos setores, como a indústria da construção civil, de Estações de Tratamento de Água (ETAs) e da agroindústria (PISANI, 2005).

Dentre os resíduos da construção civil utilizados na confecção dos tijolos ecológicos, tem-se como exemplo o papel kraft, oriundo dos sacos de cimento. As fibras celulósicas presentes nas embalagens de papel kraft apresentam excelentes propriedades físicas e mecânicas, decorrentes da disposição e da natureza das fibras (BUSON, 2009). Segundo estudo realizado por Schweig (2017), a incorporação de resíduos de papel kraft em adobes de solo-cimento apresentou resultados satisfatórios, apresentando valores de resistência à compressão superiores ao exigido pelas recomendações normativas.

Os resíduos das ETAs são gerados no processo de tratamento da água, dentre eles, têm-se o lodo de decantador e água de lavagem de filtros. O lodo oriundo dos decantadores é composto por materiais presentes na água bruta (sem tratamento) e por subprodutos da reação dos agentes químicos coagulantes na água. (REALI, 1999 apud CABRAL, 2013). Cabral (2013) avaliou a incorporação do lodo de uma ETA na confecção de tijolos de solo-cimento, com o intuito, de contribuir para a preservação ambiental e o aproveitamento desse resíduo como matéria prima. O autor, constatou

que a incorporação desse resíduo é satisfatória, em termos de resistência, com teores de 6% de lodo e no mínimo 15% de cimento.

5.4.1 Resíduos Agroindustriais

É notório que a agricultura tem contribuído de forma significativa para o crescimento da economia brasileira e desenvolvimento do país, com um PIB de cerca de 23,5%, em 2017 (IBGE, 2017), e estima-se um crescimento de 2% do PIB do agronegócio, em 2019 (CNA 2018; GASQUES; BASTOS, 2003).

Sobre o tema, contudo, é importante destacar que o acelerado crescimento populacional tem acarretado um aumento da demanda de alimentos, e, proporcionalmente, o aumento na geração de resíduos agrícolas, que, por sua vez, são depositados irregularmente em rios ou depósitos a céu aberto. Como resultado, tem-se a contaminação do solo e lençóis freáticos, ocasionado, impacto no meio ambiente e danos à saúde humana (NEFUSSI, 1985).

Diante desse quadro, tem-se buscado nos últimos anos alternativas para o aproveitamento dos resíduos agroindustriais (CORDEIRO *et al.*, 2007 apud RODRIGUES *et al.*, 2008), que, por sua vez, na maioria dos casos são resultantes dos restos de materiais vegetais, sem valor comercial (MATOS, 2005).

De acordo com a Lei nº 12.305 dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), os resíduos da produção animal e os resíduos da agroindústria são classificados, quanto à sua origem, como resíduos agrossilvopastoris, incluindo os relacionados a insumos.

Ao analisar tal conjuntura, a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) estimou uma geração de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos agroindustriais por ano (FAO, 2013).

Ainda a respeito do tema, Matos (2005), afirma que

“Os resíduos agroindustriais são gerados no processamento de alimentos, fibras, couro, madeira, produção de açúcar e álcool, etc., sendo sua produção, geralmente, sazonal, condicionada pela maturidade da cultura ou oferta da matéria-prima. Os resíduos sólidos de agroindústrias (bagaços, tortas, restos de frutas e hortaliças, etc.) são constituídos por aqueles provenientes de usinas sucro-alcooleiras, matadouros e indústrias de processamento de carnes (vísceras e carcaça de animais), frutas e hortaliças (bagaço, tortas, refugo e restos), indústria da celulose e papel (resíduos da madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuárias), curtumes (aparas de couro e lodo do processo e tratamento de águas residuárias), etc.”

Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2011), a geração total de resíduos agroindustriais por produtos, em 2009, foi de 290 milhões de toneladas. A Tabela 5 apresenta os valores dos resíduos gerados pelo setor da agroindústria em 2009, e seu respectivo potencial energético.

Tabela 5 - Resumo dos dados de geração de resíduos e potencial energético dos resíduos, ano base 2009.

Produto/Fase	Resíduos	Potencial
Culturas	Total de Resíduos (t/ano)	Potencial Energético (MW/ano)
Soja	41.862.129	3.422
Milho	29.432.678	2.406
Cana-de-açúcar (bagaço e torta de filtro)	201.418.487	16.464
Cana-de-açúcar (vinhaça)	-	-
Feijão	1.847.984	143
Arroz	2.530.355	175
Trigo	3.033.315	238
Mandioca	-	-
Café	1.220.029	97
Cacau	83.025	7
Banana	99.640	-
Laranja	8.825.276	-
Coco-da-baía	405.009	39
Castanha de caju	80.484	8
Uva	-	-

Fonte: Fonte: Adaptada Ministério do Meio Ambiente, 2011.

Analisando a Tabela 4, observa-se a grande geração de resíduos pelo setor em voga e um elevado potencial de geração de energia elétrica. No entanto, segundo dados do IBGE (2015), tem-se que a maior parte dessa biomassa é descartada sem uma função econômica. De acordo com Lima e Silva (2005), apenas 40% a 60% de toda produção industrial que emprega a biomassa são utilizados, o restante é descartado.

Os resíduos agroindustriais podem ser aplicados para a obtenção de novos materiais para a construção civil, isso ocorre, com o intuito de reduzir o custo da construção e o consumo excessivo de recursos, além da preocupação com o esgotamento dessas reservas naturais (CINCOTTO, 1988 apud CAMPOS, 2005).

Portanto, tem-se que os resíduos agroindustriais apresentam várias aplicações, seja na utilização da biomassa para a produção de energia, no uso de resíduos de fibra em compósitos à base de cimento ou em estruturas de solo-cimentos-resíduos fibrosos. Dessa forma, a utilização dos resíduos agroindustriais para a obtenção de novos produtos, além da diminuição de custos, permite diminuir

os impactos ambientais associados ao setor industrial, agroindustrial e também à indústria da construção civil, bem como contribuem para a agregação de valor a estes (GOUVEIA, 2015).

5.4.1.1 Resíduo Madeireiro

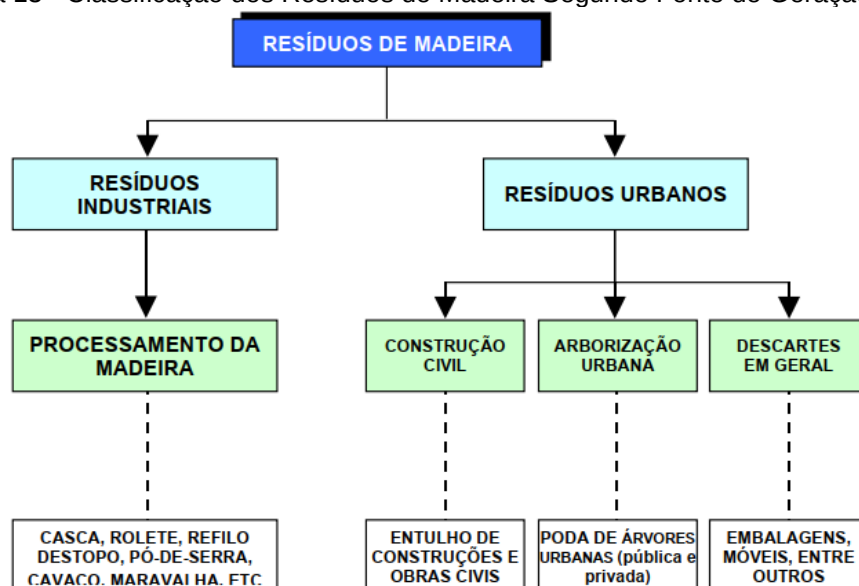
A madeira é um dos materiais de construção presente desde a existência do homem. No entanto, o consumo desenfreado das florestas na América do Norte fez surgir o início da preocupação quanto ao manejo sustentável (BEAZLEY, 1978 apud LACOMBE, 2015).

O Brasil é um país abundante em matéria-prima, sendo que desde o início do período de descobrimento já havia a exploração de madeira, com a extração do pau-brasil³ na Mata Atlântica. O desperdício, consequente do manuseio e disposição inadequada da madeira, leva a excessiva geração de resíduos, e geralmente, são eliminados por meio de queima. Com isso, severos problemas ambientais são apresentados, como poluição atmosférica, o assoreamento e a poluição dos rios, e o desperdício energético (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MADEIRA, 1989 apud LACOMBE, 2015; BRAND, 2002).

O setor madeireiro é responsável pela intensa geração de resíduos, desde a exploração florestal até a manufatura dos produtos (SOUZA, 2010). Estima-se que há cerca de 85.000.000 m³/ano de resíduos madeireiros, provenientes da colheita e processamento nas serrarias, e 28.000 toneladas/ano de resíduos madeireiros na indústria (BRASIL, 2011).

Segundo Tuoto (2009), os resíduos de madeira são provenientes de duas fontes distintas: i) processamento industrial; e ii) meio urbano. De acordo com a Figura 13, os resíduos de madeira originados na indústria são decorrentes do processamento da madeira. Já os resíduos urbanos, têm como geradores a indústria da construção civil (entulhos de construções e obras civis), a arborização urbana (podas de árvores urbanas) e descartes em geral (embalagens, móveis e entre outros).

Figura 13 - Classificação dos Resíduos de Madeira Segundo Fonte de Geração.



Fonte: Tuoto (2009)

O processamento da tora gera um elevado volume serragem, ocasionado pela passagem da peça na serra. Esse volume pode ser expresso como a diferença entre o volume de madeira de toras que entra na serraria e o volume de madeira serrada produzida. Vale ressaltar que o somatório dos resíduos de serragem, restos de galhos e troncos acarreta um volume superior que o de madeira serrada produzida (FAGUNDES, 2003). O volume de resíduos gerado pode estar relacionado a diversos fatores como:

A falta de qualidade da matéria-prima florestal a ser processada; mudança geométrica do produto; adoção de técnicas menos apuradas de desdobro; liberação de tensões durante o desdobro; escolha incorreta das ferramentas de corte; adoção de velocidade incorreta; espessura do corte das serras; decisões equivocadas dos operadores da serra de desdobro; secagem de forma inadequada da madeira serrada (FAGUNDES, 2003, p. 68).

Segundo Fontes (1994), o extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) classifica os resíduos industriais em três tipos:

- I. **Serragem:** resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, a exceção das laminadoras, com dimensões entre 0,5 a 2,5 mm.
- II. **Cepilho:** conhecido também por maravalha, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadoras, dimensões menores que 2,5 mm.

- III. **Lenha:** resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria, composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduo de topo de tora, restos de lâminas.

De acordo com CIWMB (1998) apud Santos (2009), os resíduos de madeira, quando dispostos e misturados com outros resíduos são facilmente contaminados e dificilmente reciclados. Tendo em vista a limitação da reciclagem, o Departamento de Reciclagem e Recuperação de Recursos da Califórnia (CIWMB) possui um programa que orienta os cidadãos quanto à disposição dos resíduos de madeira, a fim de otimizar o maior aproveitamento do material, tendo como princípio a conscientização do usuário quanto a evitar a geração de resíduos (CIWMB, 1998 apud SANTOS, 2009). As bases de orientação aos usuários são:

- Planejamento da construção para evitar desperdícios;
- Compra de material proveniente de reciclagem, manutenção e conservação de peças de madeira, como portas, janelas, forros e estruturas para evitar a reposição por outra peça;
- Encontrar outro uso para o resíduo da madeira que demande o mínimo de processamento antes da reutilização;
- Utilização como matéria prima para fabricação de madeira processada, como por exemplo, chapas OSB (painel de tiras de madeira orientadas);
- Procurar uma empresa que recicle a madeira conforme orientação da CIWMB;
- Encaminhar o resíduo da madeira que não possa ser reciclada a uma empresa que produza energia a partir de biomassa;
- Como última alternativa, encaminhar o resíduo para a disposição em área específica para entulhos.

5.4.2 Uso de cinzas vegetais na estabilização de solos

A saber, dentre os cereais, o arroz, o trigo e o milho são responsáveis pelas maiores colheitas. Desses espécimes, algumas partes não são aproveitadas, como folhas, caule e casca, o que acarreta a geração de resíduos. Diante disso, tem-se que o elevado volume de partes não aproveitadas contribui para a problemática de destinação inadequada dos resíduos pela indústria e pela agricultura (KAWABATA, 2008).

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), o Brasil produziu cerca de 10,4 milhões de toneladas de arroz em casca no ano de 2019. A região Sul apresentou a maior produção de arroz em casca (8,5 milhões de toneladas), seguida pela região Norte (938,4 mil toneladas), Centro-Oeste (574,5 mil toneladas), Nordeste (319,5 mil toneladas) e Sudeste (51,9 mil toneladas). Sendo que, na região centro-oeste o estado de Mato Grosso é responsável pela maior produção de arroz em casca, com cerca de 437,7 mil toneladas.

Empresas que realizam o beneficiamento do arroz são as principais consumidores da casca de arroz (CA), que diante do seu elevado poder calorífico (16,720 kJ/kg) e baixo custo (quase nulo), tem sido utilizada como fonte de geração de calor e vapor, substituindo a lenha, nos processos de secagem e parboilização dos grãos. Em geral, por se tratar de pequenas empresas, muitas não apresentam controle tecnológico no processo da queima das cascas, gerando as cinzas da casca de arroz (CCA) que não maioria dos casos não recebem destinação adequada (CINCOTTO *et al.*, 1990 apud CAMPOS, 2005). De acordo com Milani (2008) a CCA é um material leve, volumoso e altamente poroso e por ser um subproduto de indústrias beneficiadoras de arroz esse resíduo apresenta disponibilidade mundial.

Geralmente as CCA são depositadas irregularmente em terrenos baldios ou em cursos de água, acarretando poluição e contaminação de mananciais (DELLA *et al.*, 2001; POUEY, 2006, MILANI, 2008). Segundo Milani (2008), a CCA representa 4% do peso do arroz em casca, sendo que dessa forma, o beneficiamento de arroz no Brasil, tende a gerar aproximadamente 416 mil toneladas de cinzas. Na Figura 14, observa-se a CCA e CA.

Figura 14 - Casca de arroz carbonizada e crua



Fonte: Berdnarski (2015)

Dentre os resíduos agroindustriais, as cinzas vegetais estão sendo amplamente utilizadas, principalmente, por apresentar composição físico-química com potencial para a fabricação de material aglomerante e disponibilidade suficiente para

o desenvolvimento, processamento e transporte deste resíduo (FERREIRA et al., 1997 apud MILANI, 2008). Segundo Milani (2008), devido ao elevado teor de sílica presente nas cinzas vegetais, como na cinza da casca de arroz, estas podem ser utilizadas:

- Na estabilização de solos e aterros sanitários;
- Na fabricação de vidros, de isolantes térmicos, de tijolos prensados e de materiais refratários;
- Como adições minerais em argamassas e concretos;
- Na produção de cimento pozolânico dependendo das condições de obtenção das cinzas.

A casca de arroz é definida como uma capa lenhosa oca, dura e altamente silicosa, cuja composição consiste em: 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica que pode ocorrer na forma cristalina e/ou amorfa (SILVEIRA et al., 1996; JAUBERTHIE et al., 2000). Segundo Della et al. (2001), a sílica (SiO_2) é um composto amplamente empregada na construção civil, em concretos, cimentos e argamassas, sendo responsável por conferir resistência mecânica, viscosidade e etc.

De acordo com Milani (2008) mesmo diante de diferentes condições de queima o teor de sílica nas CCA não sofre variações significativas. Na Tabela 6, observa-se esse comportamento, através de dados obtidos de autores distintos.

Tabela 6 - Composição química de cinzas de casca de arroz, % em massa.

Constituintes da cinza	Autores			
	Guedert et al. (1989)	Cincotto (1989)	Da Fonseca (1993)	Stroeven et al. (1999)
Sílica	93,11	94,7	91,24	96,7
Al_2O_3	0,92	0,09	1,46	0,08
Fe_2O_3	0,4	1,46	0,96	0,03
CaO	0,52	0,99	0,69	0,3
MgO	0,85	0,95	0,50	0,16
Na_2O	0,12	0,04	0,20	-
K_2O	1,12	1,75	2,23	0,73
SO_3	-	0,21	0,05	-

Fonte: Milani (2008)

A queima ou calcinação da casca de arroz realizada em temperaturas controladas (400 °C a 850 °C), acarreta a retirada da matéria orgânica e a preservação

da sílica no estado amorfo. E diante disso, as cinzas se tornam mais solúveis no meio aquoso, além de, apresentarem capacidade aglomerante. Recomenda-se, a queima da CA por um período de 3 a 4 horas, a temperaturas entre 450 °C a 700 °C, para manter a sílica altamente reativa (FREIRE *et al.*, 1991).

Segundo Milani (2008), a queima da CA a altas temperaturas (acima de 850 °C) destrói a estrutura alveolar da sílica amorfa, acarretando o surgimento de formas cristalinas de sílica. As sílicas cristalinas, são relativamente inativas, por apresentar baixa solubilidade em água e não possuir capacidade aglomerante.

Já a calcinação a temperaturas baixas (inferior a 400 °C), ocasiona em cinzas com alto teor de carbono, com efeitos distintos nas características pozolânicas. Pois este, não participa das reações de hidratação e, devido a sua presença, tem-se menor teor de pozolana na reação. Sendo que, teores de até 12% de carbono nas cinzas não causam prejuízos (MILANI, 2008).

A CCA, assim como a cinza volante, pode ser usada na estabilização físico-química de solos arenoso (BARBOSA, 2006). A predominância de sílica amorfa na CCA, proporciona a capacidade de ser utilizada como adição mineral. As adições minerais pozolânicas são qualificadas conforme a capacidade da reatividade da cinza em meio aquoso com o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 (JOHN *et al.*, 2003).

A interação das pozolanas com a cal hidratada forma o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que contribui para o ganho de resistência mecânica dos compostos cimentícios (CINCOTTO; KAUPATEZ, 1998 apud ALCANTARA *et al.*, 2011). Segundo Neville (1997), a adições desses minerais, tornam os materiais mais densos pela redução de capilares, isso ocorre pela pequena granulometria das partículas (menores que a de cimento), sendo denominados de fíller. A desenficação contribui para a diminuição da permeabilidade e aumento da durabilidade do material.

A maior parte das pesquisas com a utilização da CCA como material pozolânico direcionam-se para obtenção de aglomerantes alternativos e estabilização de solos. Segundo pesquisa realizada por Basha *et al* (2005), no estudo da estabilização de um solo residual de granito (solo típico na Malásia) com adição de cimento e CCA, observou-se que adições gradativas dos teores de cimento ou de cinza no solo afetam no aumento da umidade ótima e na redução da massa específica seca máxima do solo. Sendo que, utilização individual da CCA para estabilizar o solo, não apresenta propriedades cimentantes, necessitando assim, da adição de cimento.

Alcantara *et al.* (2011) relatou que a adição de cinza de casca de arroz calcinada e moída à uma mistura solo-cal, para confecção de tijolos, apresentou uma maior capacidade de absorção de água e um ganho de resistência à compressão não confinada da ordem de 3,4 MPa, atendendo, dessa forma, às exigências da norma de 2 MPa. Com isso, manteve-se os valores de absorção de água e resistência, compressão da mesma ordem, de modo a alcançar uma situação de equilíbrio aos 90 dias de cura.

A incorporação da cinza de casca de arroz no sistema solo-cimento estudado por Milani (2008) resultou em uma diminuição da massa específica aparente seca máxima e aumento da umidade ótima. Com isso, em relação as propriedades físico-mecânicas, os tratamentos com 92,5% de solo + 7,5% de cinza estabilizado com 10-13% de cimento apresentaram melhores desempenhos. Ainda de acordo com a autora, todos os tratamentos com solo-cimento-cinza atenderam aos critérios e recomendações acerca dos valores mínimos de resistência à compressão simples e máximos de capacidade de absorção de água e de perda de massa.

No entanto, em sua pesquisa Vessozi (2016) observou que tijolos de solo-cimento com adição de CCA não atenderam os critérios mínimos de resistência à compressão exigidos pela NBR 8492/1984, tanto para idade de 7, quanto para 28 dias. Já no ensaio de absorção de água, as misturas de solo-cimento-cinza atenderam aos critérios exigidos por norma, resultando em uma absorção média de 19,75% com adição de cinza e 15,61% com substituição parcial do cimento por cinza.

6 METODOLOGIA

6.1 SOLO

Esta pesquisa dá continuidade às atividades desenvolvidas no projeto de pesquisa intitulado “Tijolos Ecológicos” como alternativa de encapsulamento e reaproveitamento de resíduos”. O solo utilizado para esta pesquisa foi extraído no ano de 2017, próximo às margens do contorno viário que liga as rodovias BR-070 e BR-158, próximo à rodovia MT-100, município de Pontal do Araguaia, como mostra a Figura 15. Para obter o material, utilizou-se de uma retroescavadeira, para realizar uma abertura no local, representada na Figura 16, com cerca de 2,5 m de profundidade e 3 m de comprimento. Sendo que, cerca de 50 cm da camada superficial foi desprezada.

Figura 15 - Localização de retirada do solo.



Fonte: Google Earth (2019)

Figura 16 - Abertura realizada para retirada do solo utilizado.



Fonte: Schweig (2017)

O solo após ser coletado foi encaminhado ao laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal de Mato Grosso campus do Araguaia e, posteriormente, destorroado, peneirado na peneira de 4,75 mm de abertura, descartando a fração pedregulho, e armazenado protegido das intempéries. Segundo a metodologia da *American Association Of State Highway and Transportation Official* (AASHTO), o solo foi classificado como um solo areno siltoso pertencente ao grupo A-2-4 (0), considerado excelente a bom para subleito de rodovias (DAS, 2011). A classificação do solo foi feita por meio de ensaios a composição granulométrica (NBR 7181), Limite de Liquidez (LL) (NBR 6459) e Limite de Plasticidade (LP) (NBR 7180), sendo os resultados obtidos apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros para classificação do solo.

Limite de Plasticidade (LP)	12%
Limite de Liquidez (LL)	18%
Índice de Plasticidade	6%
Índice de Grupo (IG)	0
Umidade Higroscópica	0,82%

Fonte: Adaptado de Schweig (2017)

6.2 CIMENTO PORTLAND

O cimento utilizado na presente pesquisa foi o Cimento Portland composto com pozolana (CP II-Z 32), disponível nas lojas que comercializam materiais para construção civil na cidade de Barra do Garças - MT. Tendo sua especificação normatizada pela NBR 11578 (ABNT, 1991). O teor de cimento adotado foi de 7%, seguindo as recomendações propostas por Schweig (2017), determinado segundo a metodologia da ABCP (2004).

6.3 OBTENÇÃO DA SERRAGEM DE MADEIRA

A serragem de madeira utilizada na pesquisa foi disponibilizada por serrarias do município de Barra do Garças. Foram coletados aproximadamente 30 kg de material e durante o período de estocagem no laboratório o resíduo ficou acondicionado em sacos plásticos. A caracterização da serragem foi feita pela determinação do teor de umidade e análise granulométrica. A Figura 17, mostra o resíduo de serragem de madeira, após acondicionado no laboratório.

Figura 17 - Serragem de madeira.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Segundo pesquisa realizada por Santos (2009), o teor de umidade do resíduo madeireiro pode ser determinado conforme adaptação para o procedimento realizado com os solos, descrito pela DNER-ME 213/94 (Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1994). Dessa forma, foi colocado cerca de 10 g (por recipiente) de serragem em três recipientes metálico e logo após foi pesado. Posteriormente, estes foram colocados em uma estufa a 105 °C por um período de 24 horas. Após este período o material foi retirado da estufa e pesado novamente. Dessa forma, foi realizado o cálculo do teor de umidade, através da média dos teores das três determinações. O teor de umidade foi calculado através da Equação 1. O teor de umidade foi calculado com o intuito de determinar a massa seca de serragem, sendo que, esta é utilizada na confecção dos tijolos de adobe.

$$h = \frac{M_{bu} - M_{bs}}{M_{bs} - m} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

h: teor de umidade (em %)

M_{bu}: massa bruta úmida + recipiente

M_{bs}: massa bruta seca + recipiente

M: massa do recipiente

A serragem de madeira foi caracterizada e selecionada granulometricamente através do peneiramento, utilizando-se peneiras para ensaio padronizadas pela NBR 7181(1984). Para caracterização, montou-se o sistema de peneiras e o mesmo foi agitado por 5 minutos. Após esse processo a massa de material retida em cada peneira foi determinada para construção da curva granulométrica. Para confecção dos tijolos de adobe, foram selecionadas apenas as fibras passantes na peneira nº 3/8" (9,5 mm). A figura 18, mostra o material após passar pelo processo de peneiramento.

Figura 18 - Serragem de madeira após o peneiramento.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os teores de serragem de madeira adotados para a confecção dos adobes foram de 1, 3 e 5% em relação à massa seca de solo. Pois, segundo trabalhos realizados por Santos (2009) e Silva (2005) a adição de teores elevados na mistura de solo prejudicaram a sua resistência, sendo que, Santos (2009) observou que o teor de 1,5% atendeu as especificações normativas com 2,15 Mpa. No entanto, a partir do aumento dos teores de serragem para 3,0% ocorreu um decréscimo na resistência do adobe, sendo de 1,98 Mpa.

6.4 OBTENÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ

A CCA utilizada no presente estudo foi cedida pela empresa Urbano Agroindustrial, localizada na cidade de Sinop no estado de Mato Grosso. Foram coletados aproximadamente 16 kg de cinza. Dessa forma, esta quando recebida no

laboratório foi acondicionada em sacos plásticos para posterior utilização. A Figura 19, mostra o resíduo de CCA obtido para realização da pesquisa.

Figura 19 - Cinza da casca de arroz.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os teores de CCA adotados para confecção dos tijolos foram de 2,5, 5 e 10% em relação à massa seca de solo, definidos com base no estudo desenvolvido por Milani (2008).

6.5 CONFECÇÃO DOS BLOCOS DE ADOBE

Serão confeccionados blocos de solo-cimento com adição de resíduo de madeira, blocos de solo-cimento com adição de cinza da casca de arroz e blocos de solo-cimento com a adição dos dois resíduos associados (resíduo de madeira + cinza da casca de arroz), sendo que os blocos contendo os dois resíduos associados serão confeccionados após análise de desempenho de forma isolada, considerando apenas o teor com melhor desempenho para cada resíduo. Os blocos confeccionados serão avaliados através dos ensaios de retração, resistência à compressão simples e absorção de água. Os resultados obtidos serão comparados com os valores de referência apresentados por Novato (2019).

6.5.1 Preparo da Mistura

Buson (2009) propôs um roteiro para o processo de preparação da mistura para blocos de terra compactada, sendo que este foi adaptado para a confecção dos blocos de adobe de solo-cimento. Inicialmente, umidifica-se o interior da betoneira, posteriormente é realizada adição dos resíduos, seguido da incorporação do solo e o cimento (previamente misturados) gradativamente. Por último acrescenta-se a água progressivamente, até que a mistura apresente uma consistência plástica característica da técnica do adobe. A água utilizada na primeira mistura, para cada teor de fibra de serragem e CCA, foi reproduzida para as produções posteriores. A composição das misturas preparadas para realização dos ensaios é apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros para classificação do solo.

Nomenclaturas	Combinações			
	Solo (%)	Teor de Cimento (%)	Teor de CCA (%)	Teor de Serragem de madeira (%)
Controle*	100	7,0	-	-
S-1	100	7,0	-	1,0
S-3	100	7,0	-	3,0
S-5	100	7,0	-	5,0
C-2,5	100	7,0	2,5	-
C-5	100	7,0	5,0	-
C-10	100	7,0	10,0	-

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

6.5.2 Moldagem dos Tijolos

A moldagem dos blocos de adobe (Figura 20) foi feita sobre uma lona disposta no chão, onde os blocos foram preenchidos manualmente em formas vazadas com dimensões de 12 cm de largura, 24 cm de comprimento e 7 cm de altura. O processo consiste em inicialmente revestir o molde com óleo lubrificante para facilitar o desmolde dos blocos, posteriormente, coloca-se a mistura manualmente em pequenas quantidades dentro do molde, de forma, a preencher os cantos e evitar vazios na mistura. Após a massa preencher todo o molde e alcançar a altura do mesmo, é feito o nivelamento do bloco, para isso, é retirado o excesso de massa

presente. Após o nivelamento o bloco é desmoldado através do levantamento do molde.

Figura 20 - Moldagem dos blocos de adobe.

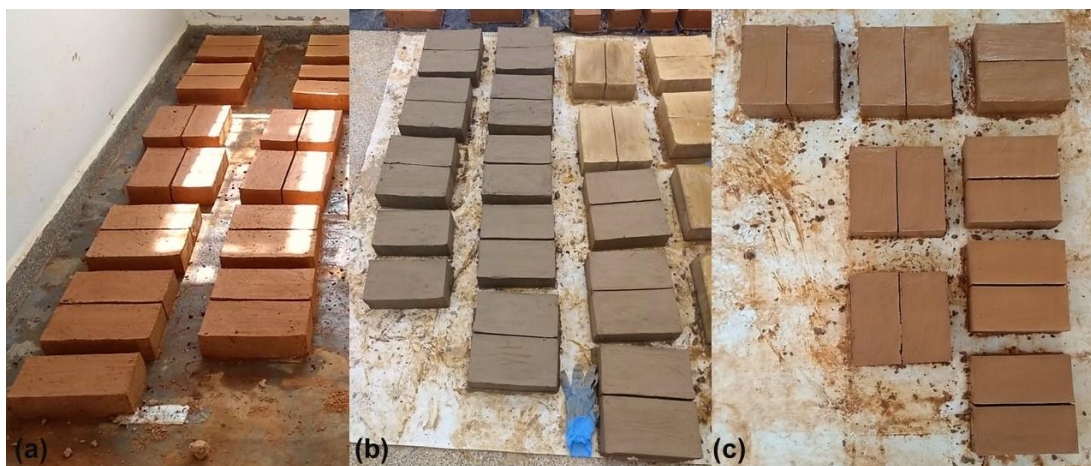


Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

6.5.3 Cura dos Blocos

A cura dos blocos (Figura 21) foi realizada ao ar sobre uma lona, para que não houvesse contato com a umidade da superfície e alocados em local protegido das intempéries por um período de 7 dias. Durante esse período, os blocos foram molhados diariamente, com o objetivo de garantir as reações de hidratação do cimento.

Figura 21 - Cura dos blocos: (a) Solo-cimento-serragem; (b) Solo-cimento-CCA e (c) Solo-cimento-serragem-CCA



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

6.6 MÉTODOS

6.6.1 Ensaio de Retração

O ensaio de retração foi realizado conforme os procedimentos propostos por Buson (2009) para os compósitos de Krafterra, sendo adaptados da metodologia proposta pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CEPED, 1999 apud BUSON, 2009), com a finalidade estudar a interferência das ações climáticas no comportamento do solo. Segundo o método proposto, o material poderá ser utilizado como sistema construtivo se este não apresentar, na análise dos resultados, trincas e retração total maior que 2 cm.

O procedimento consiste no preparo de uma massa de consistência similar ao do adobe. A mistura referente a cada resíduo e a cada teor deve ser acondicionada na caixa de ensaio, apresentando dimensões internas de 3,5 cm de altura, 8,5 cm de largura e 60 cm de comprimento. Segundo o método proposto por Buson (2009), após o acondicionamento da mistura dentro na caixa (Figura 22), uma das laterais deve ser levantada e deixada cair, sob efeito da gravidade, a uma altura de aproximadamente 7 cm. Tal processo deve ser repetido por dez vezes, com o intuito de homogeneizar e dispor a mistura na caixa de ensaio. A caixa deve ser acondicionada em um local protegido das intempéries e umidade excessiva por um período de 7 dias, para que sejam realizadas as medições. Após o período de cura, verificou-se a existência de fissuras e efetuou-se 3 medições de retração (precisão de 1 mm) para cada teor, nas duas extremidades da caixa de ensaio.

Figura 22 - Distribuição da mistura dentro da caixa.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

6.6.2 Ensaio de Resistência à Compressão Simples

O ensaio de resistência à compressão simples (Figura 23) embasou-se na NBR 8492 (ABNT, 1984). Nesse ensaio foram avaliados 10 blocos de cada mistura para um período de cura de 7 dias.

Os corpos de provas foram capeados, conforme proposto por Silva (2015), com argamassa de cimento com traço de 1:2:0,25, permitindo a distribuição uniforme da carga aplicada. O capeamento foi realizado somente na face superior do bloco, já que a face inferior permaneceu apoiada sobre uma superfície plana durante sua moldagem, não necessitando assim, de regularização.

O processo de cura da argamassa ocorreu por um período de 24h. Logo após, as amostras foram colocadas entre duas chapas de aço, com o intuito de transferir uniformemente sobre o corpo de prova a carga aplicada no ensaio. Posteriormente, as amostras foram submetidas à verificação de resistência à compressão, com uma velocidade de carregamento de 50 mm/min.

Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão simples.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

6.6.3 Teor de umidade e Ensaio de Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi conduzido tendo como referência a NBR 8492 (ABNT, 1984). A análise constituiu, no ensaio de 3 corpos de prova para cada

mistura. Após o período de cura, os blocos foram pesados, determinando assim sua massa bruta (M_0). Em seguida foram colocados em estufa na temperatura de $105\pm 5^\circ\text{C}$, por 24 horas e, posteriormente, pesados, determinando sua massa seca (M_1). Após isso os tijolos foram submersos em água (Figura 24) a temperatura ambiente durante 24h. Após esse período, os blocos são retirados da água, secos superficialmente com auxílio de um tecido e pesados novamente, com isso determinando a massa úmida (M_2). O teor de umidade (U) e a absorção de água (A) são expressos em porcentagem e determinados através da Equação 1 e Equação 2.

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Figura 24 - Blocos submersos em água.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Após o ensaio de imersão os blocos foram submetidos ao ensaio de resistência a compressão, sem realização de capeamento, no intuito de avaliar o desempenho mecânico do material numa condição crítica. Os blocos foram submetidos a uma velocidade de carregamento de 50 mm/min.

6.6.4 Análise estatística

Todos os parâmetros obtidos foram tratados estatisticamente através da análise de variância (ANOVA), teste de comparações múltiplas de médias (teste Tukey), e teste T Student utilizando o software gratuito Paleontological Statistics (PAST) versão 3.22. A análise de variância foi feita com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas entre as misturas com diferentes teores para

um mesmo resíduo, o teste Tukey foi aplicado com o intuito de identificar quais composições apresentaram diferença significativa.

O teste T Student que foi conduzido presumindo variâncias diferentes entre as misturas, foi aplicado para verificar a existência de diferença significativa nos valores de resistência à compressão após imersão em água. Como a hipótese tem como base a diferença de médias, a análise dos dados por esse tratamento foi feita considerando um teste bicaudal.

Na análise da existência de diferenças significativas entre as composições foram levantadas duas hipóteses: a hipótese nula, que considera não haver diferença entre as médias, e a hipótese alternativa, em que nem todas as médias são iguais. Em todas as análises foi considerado satisfatório o nível de significância (p) de 5%. Se $p \leq 0,05$, a hipótese nula é rejeitada, indicando existir diferença significativa entre as médias, e se $p > 0,05$, não existem diferenças significativas.

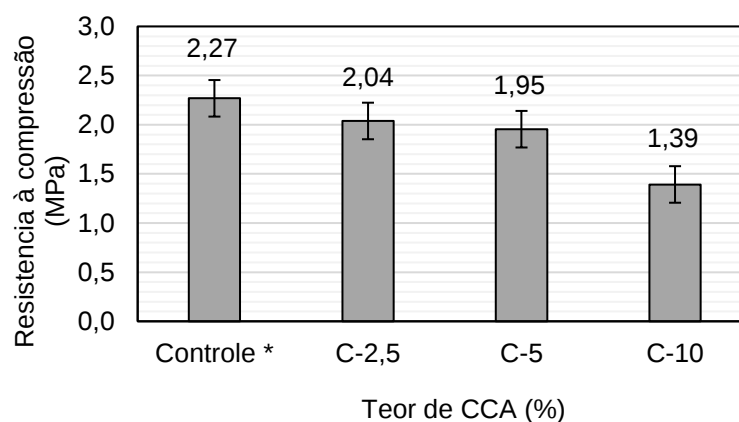
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO-CCA

7.1.1 Análise da resistência à compressão simples

Os valores médios de resistência à compressão simples dos tijolos de adobe de solo-cimento confeccionados com diferentes teores de CCA são apresentados na Figura 25. Sendo que, os dados referentes aos ensaios de resistência à compressão simples são explicitados no Apêndice A: Tabela 16. De forma resumida, observa-se o decréscimo da resistência média à compressão simples dos blocos com adição de CCA. Sendo que, os blocos C-2,5, C-5 e C-10 apresentaram uma queda, aos 7 dias, de 0,23; 0,32 e 0,88 MPa em relação a amostra controle, o que corresponde respectivamente à reduções de 10%, 14% e 39% em relação à amostra controle. Os maiores valores de resistência à compressão obtidos foram o da amostra controle, seguido pela amostra C-2,5.

Figura 25 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos de CCA.



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Através da análise de variância (ANOVA), apresentada no Apêndice A: Tabela 17, é possível observar que o nível descritivo do teste (Valor-P) é menor que o nível de significância (0,05). Diante do exposto, pode-se afirmar que existe diferença significativa entre as quatro composições analisando a variável resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de solo-cimento com adição de CCA. Fazendo a análise dos valores médios de resistência à compressão obtidos nos diferentes teores de CCA pelo teste Tukey (Tabela 9), pode-se observar que as amostras C-5 e C-10 apresentaram diferenças significativas em relação a amostra

controle. Do mesmo modo, a combinação C-10 diferiu de todas as amostras apresentadas.

Tabela 9 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável resistência à compressão simples.

Teor	Controle*	C-2,5	C-5	C-10
Controle*		0,1886	0,03803	1,59E-08
C-2,5	0,1886		0,8721	7,754E-06
C-5	0,03803	0,8721		7,864E-05
C-10	1,59E-08	7,754E-06	7,864E-05	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

É notório, que nas amostras C-5 e C-10 a adição de CCA acarretou uma perda de resistência significativa em relação a amostra controle. Dessa forma, pode-se notar que apenas a amostra C-2,5 não apresentou perda de resistência significativa em relação à amostra controle. Em vista disso, observa-se que a adição de teores elevados de CCA provocaram quedas significativas na resistência dos blocos de adobe.

7.1.2 Análise da retração

Os valores médios de retração, através do método da caixa, dos diferentes teores de CCA são apresentados na Figura 26, Figura 27. Sendo que, os dados referentes aos ensaios de retração são explicitados no Apêndice A: Tabela 18. Os resultados obtidos no ensaio de retração (Figura 26), mostraram a presença de trincas apenas na amostra controle, que segundo o CEPED (1999) impossibilitaria a utilização para componentes em elementos construtivos. Além da presença de trincas, é possível observar as retrações nas demais amostras.

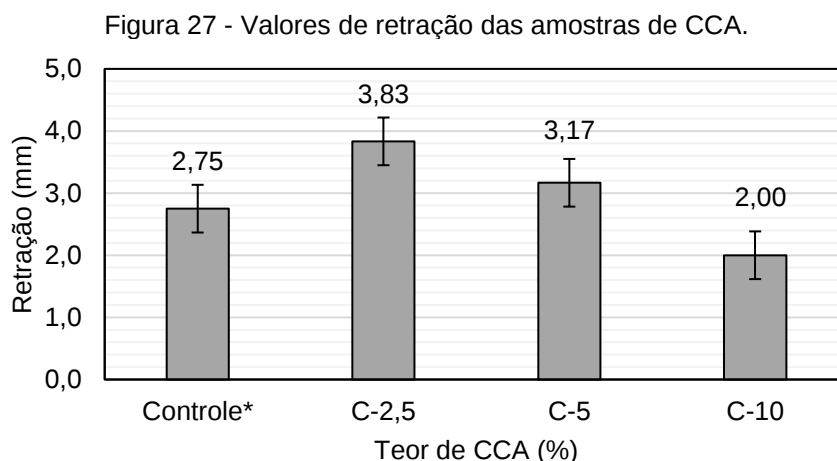
Figura 26 - Aspecto das amostras após o ensaio de retração



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Ao analisar os valores das amostras com adição de CCA (Figura 27), é possível observar que os valores médios de retração obtidos para cada teor são inferiores ao máximo permitido, de 2 cm. Dessa forma, segundo apenas os resultados de retração apresentados e por não apresentarem trincas, as amostras C-2,5, C-5 e C-10 podem ser utilizadas em elementos da construção civil. Nota-se, que o decréscimo na retração dos blocos é inversamente proporcional ao teor de cinza.



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A análise de variância (ANOVA), apresentada no Apêndice A: Tabela 19, mostrou que o nível descritivo do teste (Valor-P) é menor que o nível de significância (0,05). Diante do exposto, afirma-se, que a adição de CCA promove efeitos significativos, em pelo menos uma das combinações, analisando a variável retração das misturas. Acresce que, através do teste Tukey (Tabela 10), observa-se que somente a amostra C-2,5 resultou em uma diferença significativa diante da amostra controle.

Tabela 10 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável retração.

Teor	Controle*	C-2,5	C-5	C-10
Controle*	-	0,03383	0,5849	0,1594
C-2,5	0,03383	-	0,2756	0,002118
C-5	0,5849	0,2756	-	0,03259
C-10	0,1594	0,002118	0,03259	-

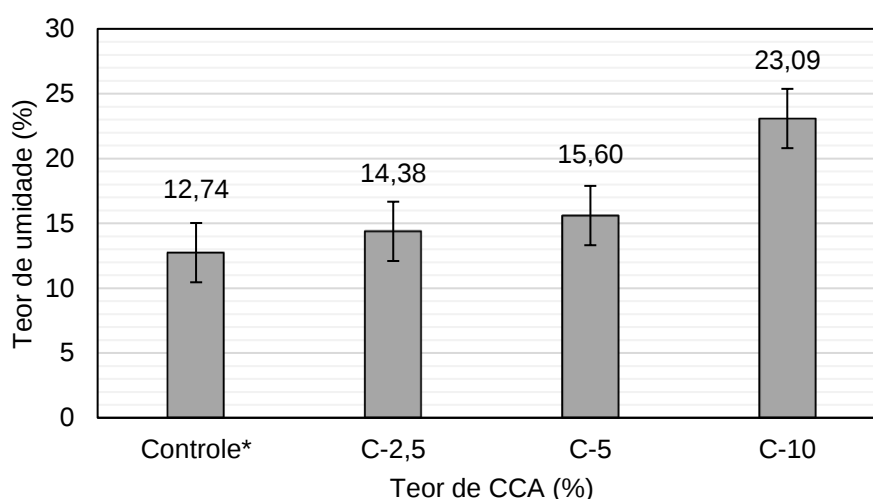
* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

7.1.3 Análise do teor de umidade, da absorção de água e resistência à compressão simples crítica

Para a confecção dos blocos, a quantidade de água necessária foi de 19,32% (NOVATO, 2019); 15,2%; 22% e 25,6%, em relação a massa seca de solo, para os teores de 0, 2,5, 5 e 10% respectivamente. O teor de umidade das misturas aos 7 dias é mostrado na Figura 28, observa-se inicialmente que a adição de CCA proporcionou um aumento do teor de umidade dos blocos. Os dados referentes a determinação do teor de umidade são explicitados no Apêndice A: Tabela 20.

Figura 28 - Teor de umidade médio dos blocos aos 7 dias- CCA.

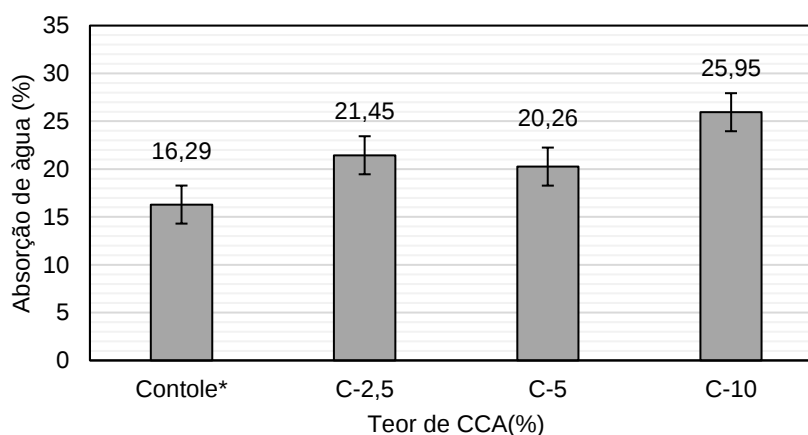


* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Na Figura 29, é possível observar que a amostra C-10 apresentou o maior valor de absorção de água, além, da não linearidade nos valores conforme o aumento do teor de CCA. Esse comportamento já era esperado, visto que, os teores de umidade das amostras não possuem uma relação de proporcionalidade, em função do caráter empírico da técnica. Todas as misturas com adição de CCA apresentam teor de umidade maior que 20% aos sete dias. Diante disso, não atendem às especificações da NBR 8492 (ABNT, 1984), que estabelece, o valor médio de 20%, como o máximo e, nenhum valor superior a 22%. Os dados referentes aos ensaios de absorção são explicitados no Apêndice A: Tabela 21.

Figura 29 - Absorção dos blocos aos 7 dias - CCA.



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A análise de variância (ANOVA), apresentada no Apêndice A: Tabela 22, mostrou que o nível descritivo do teste (Valor-P) é menor que o nível de significância (0,05). Diante disso, afirma-se, que a análise de variância mostrou que a adição de CCA promove efeitos significativos, em pelo menos uma das combinações, analisando a variável absorção de água. Realizando o teste Tukey (Tabela 11), observa-se que todas as misturas com adição de CCA apresentaram diferenças significativas no que concerne a amostra controle. Assim também, nota-se que a mistura C-10 difere-se significativamente das demais amostras.

Tabela 11 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável absorção.

Teor	Controle*	C-2,5	C-5	C-10
Controle*		0,001109	0,005818	1,212E-05
C-2,5	0,001109		0,513	0,002676
C-5	0,005818	0,513		0,0005695
C-10	1,212E-05	0,002676	0,0005695	

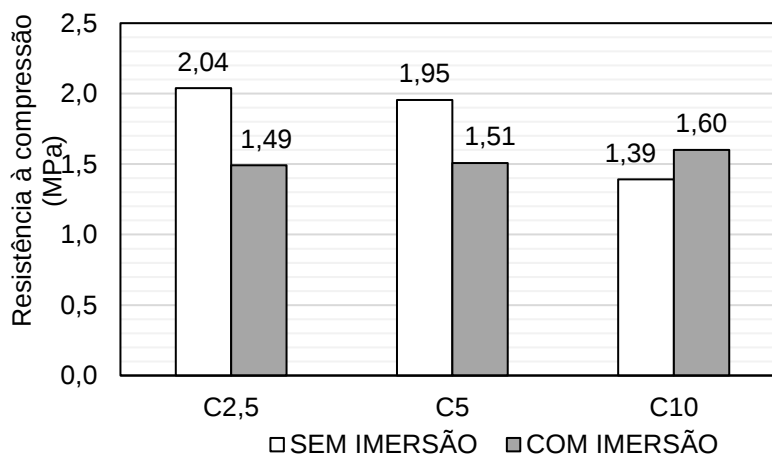
* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

O aumento do consumo de água e da capacidade de absorção dos blocos diretamente proporcional ao aumento do teor de cinza da composição é condizente com os resultados obtidos pelos autores Barbosa Filho e Pires Sobrinho (1998) apud Valenciano e Freire (2004) e Milani (2008). Visto que, segundo Milani (2008), ocorre maiores volumes de vazios com o aumento de teor de cinza.

Os resultados de resistência à compressão simples crítica (com imersão), são apresentados na Figura 30, sendo mais detalhados no Apêndice A: Tabela 23. Analisando os gráficos, pode-se observar o decréscimo da resistência à compressão das composições C-2,5 e C-5 e um acréscimo na composição C-10. Sendo os decréscimos de, 0,55 e 0,44 MPa respectivamente, e o acréscimo de 0,21 MPa.

Figura 30 - Resultados de resistência à compressão simples crítica – CCA



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

No entanto, de acordo com o teste T (Apêndice A Tabela 24), observa-se que o acréscimo na resistência à compressão da composição C-10 não é significativo (Valor $P > 0,05$). Diante disso, pode-se concluir, que a imersão dos blocos na água, prejudica a resistência à compressão dos blocos com adição de CCA.

7.2 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO-SERRAGEM

7.2.1 Caracterização do resíduo de madeira

Na Tabela 12 são apresentados os valores encontrados para o teor de umidade médio da serragem, que foi estimado em 44,24%.

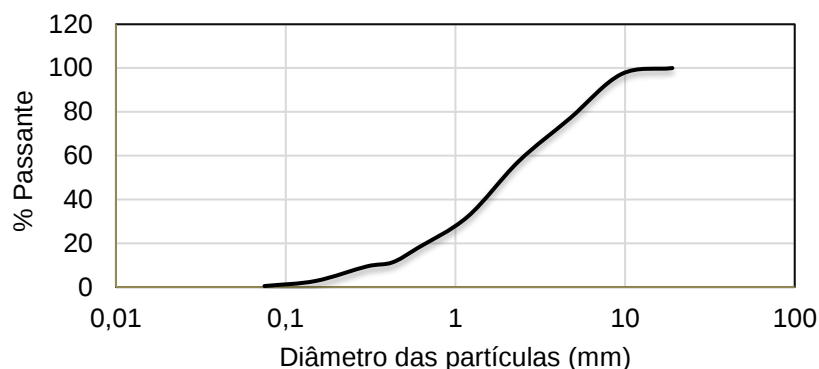
Tabela 12 - Teor de umidade das amostras de Serragem

Amostra	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Diferença (g)	Peso do recipiente (g)	Teor de umidade (%)
01	21,4	18,4	3,0	11,4	42,86
02	21,7	18,6	3,1	11,7	44,93
03	21,6	18,5	3,1	11,6	44,93
Média					44,24

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Figura 31 apresenta a curva granulométrica do resíduo de serragem de madeira. É possível observar um desenvolvimento contínuo da curva, indicando desta forma, uma boa graduação

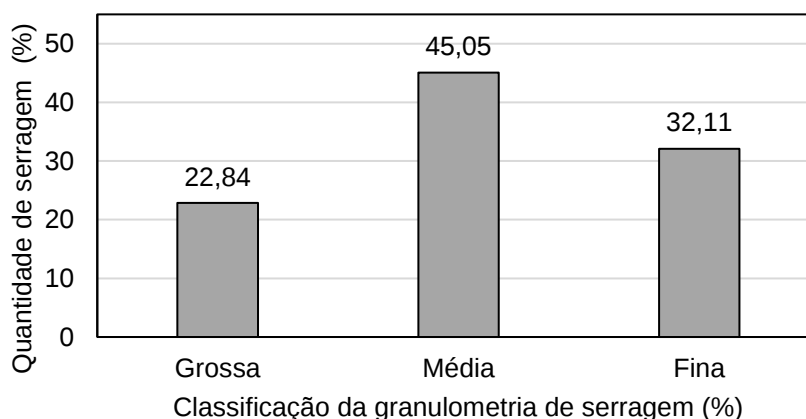
Figura 31 - Curva granulométrica do resíduo de serragem.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A avaliação quantitativa da granulometria da serragem de madeira é apresentada no Apêndice B: Tabela 25. De acordo com Teixeira (2005) a serragem de madeira pode ser classificada em fina, média e grossa, sendo que a serragem fina contempla partículas com diâmetros iguais ou menores que 0,59 mm, a serragem média, variando de 0,59 mm a 4,76 mm e a serragem grossa de 4,76 mm a 19,10 mm. Na Figura 32, observa-se a predominância de serragem de granulometria média (45,05%). Seguido pela granulometria fina (32,11%) e granulometria grossa (22,84%). Na Figura 33 são apresentadas imagens das frações retidas em cada malha da peneira.

Figura 32 - Classificação granulométrica da serragem de madeira.



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Figura 33 - Frações retidas de serragem de madeira após o peneiramento.

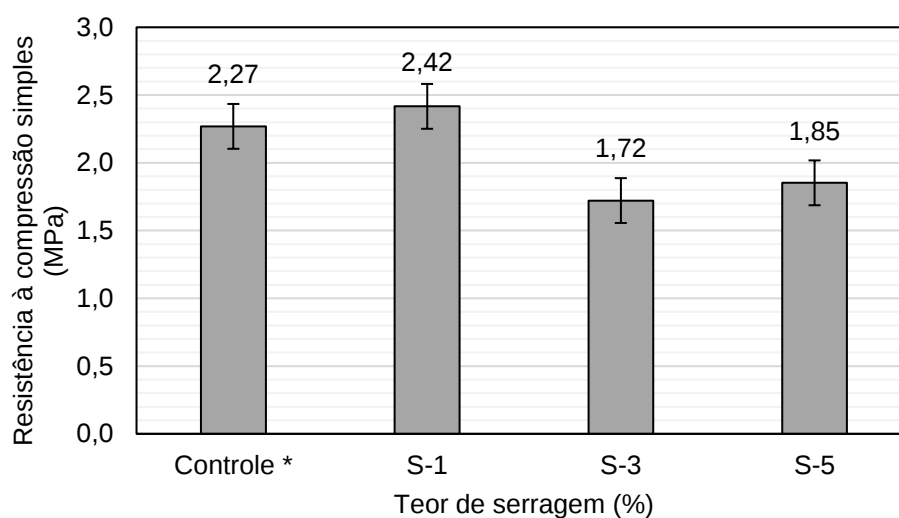


Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

7.2.2 Análise da resistência à compressão simples

Os valores médios de resistência à compressão simples dos tijolos de adobe de solo-cimento confeccionados com diferentes teores de serragem são apresentados na Figura 34. Sendo que, os dados referentes aos ensaios de resistência à compressão simples são explicitados no Apêndice B: Tabela 26.

Figura 34 - Resistência à compressão simples média aos 7 dias dos blocos de serragem.



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

De forma resumida, observa-se o acréscimo da resistência média à compressão simples dos blocos S-1 em relação a amostra controle, de 0,15 MPa. A partir da amostra S-3 a adição de serragem provoca um decréscimo, não linear, da resistência média referente à amostra controle. Os blocos S-3 e S-5 apresentaram uma queda significativa, aos 7 dias, de 0,55 e 0,42 MPa, que correspondem à cerca de 24% e 18% de redução em relação à amostra controle. Os maiores valores de resistência média à compressão foram dos blocos S-1, seguido pela amostra controle.

Através da análise de variância (ANOVA), apresentada no Apêndice B: Tabela 27, é possível observar que o nível descritivo do teste (Valor-P) é menor que o nível de significância (0,05). Diante do exposto, pode-se afirmar que existe diferença significativa entre as quatro composições analisando a variável resistência à compressão simples dos corpos-de-prova de solo-cimento com adição de serragem. Fazendo a análise dos valores médios de resistência à compressão obtidos nos diferentes teores de serragem pelo teste Tukey (Tabela 13), pode-se observar que as amostras S-3 e S-5 diferiram-se significativamente tanto da amostra controle quanto da composição S-1. Dessa forma, têm-se que a adição de teores elevados de serragem (maior ou igual a 3%), proporciona decréscimos significativos na resistência à compressão dos blocos. Sendo que, a composição S-1 não apresentou diferença significativa em relação a amostra controle.

Tabela 13 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de serragem sobre a variável resistência à compressão simples.

Teor	Controle*	S-1	S-3	S-5
Controle*	-	0,5022	4,63E-05	0,001853
S-1	0,5022	-	6,256E-07	2,806E-05
S-3	4,63E-05	6,256E-07	-	0,6033
S-5	0,001853	2,806E-05	0,6033	-

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A perda de resistência à compressão dos blocos diretamente proporcional ao aumento do teor de serragem na composição é condizente com os resultados obtidos pelos autores Santos (2009), Silva (2005) e Weber (2017). Esse comportamento é devido a maiores volumes de vazios conforme o aumento do teor de serragem de madeira.

7.2.1 Análise da retração

Os valores médios de retração, através do método da caixa, dos diferentes teores de serragem são apresentados na Figura 35 e Figura 36. Os resultados obtidos no ensaio de retração (Figura 35), mostraram a presença de trincas apenas na amostra controle, que segundo o CEPED (1999) impossibilitaria a utilização para componentes e elementos construtivos. Além da presença de trincas, é possível observar as retrações nas demais amostras. Os dados referentes aos ensaios de retração são explicitados no Apêndice B: Tabela 28

Figura 35 - Aspecto das amostras após o ensaio de retração.

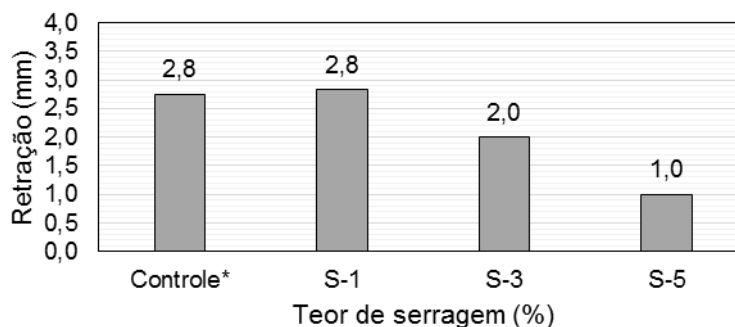


* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Ao analisar os valores apresentados na Figura 36, é possível observar que os valores médios de retração obtidos para cada teor são inferiores ao máximo permitido, de 2 cm. Dessa forma, segundo apenas os resultados de retração, as amostras S-1, S-3 e S-5 podem ser utilizadas em elementos da construção civil. Nota-se, um decréscimo na retração das amostras S-3 e S-5 em relação a amostra controle, de 0,75 mm e 1,75 mm, que corresponde à uma redução de cerca de 27% e 62%, respectivamente. Além de, um acréscimo de 0,05 mm na amostra S-1 em relação a amostra controle.

Figura 36 - Valores de retração das amostras de serragem.



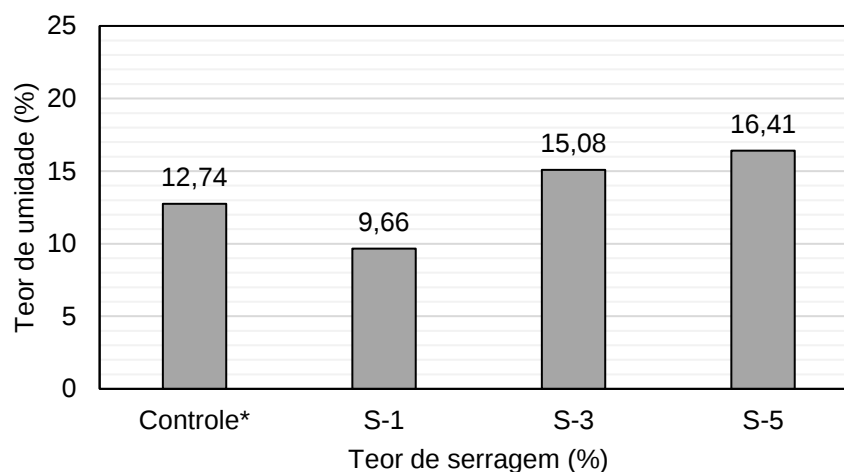
* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

7.2.2 Análise do teor de umidade, da absorção de água e resistência à compressão simples crítica

Para a confecção dos blocos, a quantidade de água necessária foi de 19,32% (NOVATO, 2019); 21,00%; 25,00% e 26,67%, em relação a massa seca de solo, para os teores de 0, 1, 3 e 5% respectivamente. O teor de umidade das misturas aos 7 dias é mostrado na Figura 37, observa-se que a adição de serragem proporcionou um aumento do teor de umidade dos blocos, apesar de ter obtido valores para os blocos S-1 inferiores a amostra controle. Os dados referentes a determinação do teor de umidade são explicitados no Apêndice B: Tabela 29.

Figura 37 - Teor de umidade médio dos blocos de serragem aos 7 dias.

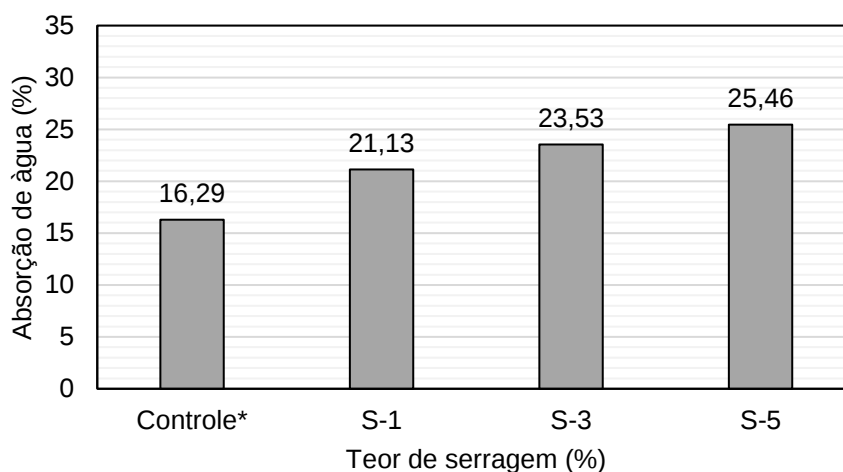


* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os resultados obtidos com o teste de absorção de água com os blocos de solo-cimento-serragem são apresentados na Figura 38 e explicitados no Apêndice B: Tabela 30. É possível notar um aumento crescente nos valores de absorção conforme ocorre o aumento do teor de serragem, sendo que a amostra S-5 apresentou o maior valor de absorção. Esse comportamento já era esperado, visto que, os teores de umidade das amostras também possuem uma relação de proporcionalidade. Dessa forma, conclui-se que apenas a amostra controle atendeu às especificações da NBR 8492 (ABNT. 1984), que estabelece, o valor médio de 20%, como o máximo e, nenhum valor superior a 22%.

Figura 38 - Absorção dos blocos de serragem aos 7 dias.



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A análise de variância (ANOVA), apresentada no Apêndice B: Tabela 31, mostrou que o nível descritivo do teste (Valor-P) é menor que o nível de significância (0,05). Diante disso, afirma-se, que a adição de serragem promove efeitos significativos, em pelo menos uma das combinações, analisando a variável absorção de água. Realizando o teste Tukey (Tabela 14), observa-se que todas as misturas com adição de serragem apresentaram diferenças significativas no que se refere a amostra controle. Dessa forma, é possível concluir que a adição de serragem promove, significativamente, o aumento de absorção de água nos blocos.

Tabela 14 - Teste Tukey referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável absorção.

Teor	Controle*	S-1	S-3	S-5
Controle*	-	0,001787	0,0001104	1,913E-05
S-1	0,001787	-	0,07853	0,0036
S-3	0,0001104	0,07853	-	0,1711
S-5	1,913E-05	0,0036	0,1711	-

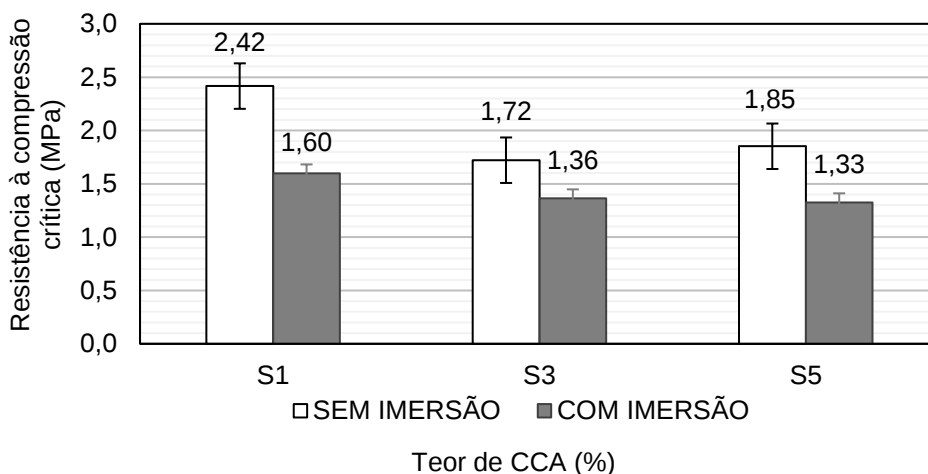
* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os resultados de resistência à compressão simples crítica (com imersão), são apresentados na Figura 39 e explicitados no Apêndice B: Tabela 32. Analisando os gráficos, pode-se observar o decréscimo da resistência à compressão em todas as composições após a imersão. Sendo de, 0,82, 0,36 e 0,52 MPa, respectivamente, que

corresponde à cerca de 34%, 21% e 28% em relação aos blocos não submetidos ao processo de imersão.

Figura 39 - Resistência à compressão simples crítica - CCA



Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

7.3 ANÁLISE DO TIJOLO DE ADOBE DE SOLO-CIMENTO-SERRAGEM-CINZA DA CASCA DE ARROZ

As composições C-2,5 e S-1 por apresentarem valores de retração que se adequam às recomendações do CEPED e valores de resistência sem variação significativa em relação à amostra controle foram definidas como a base para a confecção dos blocos associando os dois resíduos. Dessa forma, estabeleceu-se a composição apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Composição da mistura de serragem + CCA

Amostra	Solo (%)	Cimento (%)	Serragem de Madeira (%)	CCA (%)
S1C2,5	100,0	7,0	1,0	2,5

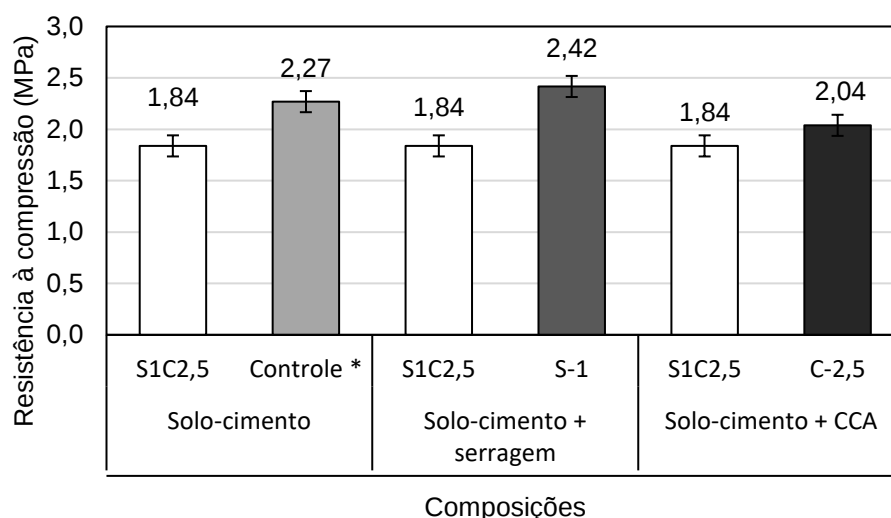
Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

7.3.1 Análise da resistência à compressão simples

Os valores médios de resistência à compressão simples dos tijolos de adobe de solo-cimento confeccionados com adição de serragem (1%) e CCA (2,5%) são apresentados na Figura 40. Sendo que, os dados obtidos são explicitados no Apêndice B: Tabela 33. De forma resumida, observa-se o decréscimo da resistência média à compressão simples dos blocos S1C2,5 em relação a todas as composições.

Sendo que, os blocos S1C2,5 apresentaram uma queda, aos 7 dias, da ordem de 19%, 24% e 10% em relação a amostra controle, S-1 e C-2,5, respectivamente. Os maiores valores de resistência à compressão das composições obtidos foram o da amostra S-1, seguido pela amostra controle.

Figura 40 - Comparativo da resistência à compressão simples média dos blocos de S1C2,5 com os blocos S-1 e C-2,5.



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

De acordo com o teste T (Apêndice C: Tabela 34, Tabela 35 e Tabela 36), observa-se que o decréscimo na resistência à compressão da composição S1C2,5, apresenta diferença significativa diante de todas as demais amostras. Diante disso, tem-se que a adição simultânea, nos teores mencionados, dos resíduos de CCA e serragem prejudicam a resistência à compressão dos blocos. Dessa forma, é possível concluir, que a adição individual de CCA e serragem proporciona melhores resultados de resistência à compressão, se comparados com adição simultânea dos dois resíduos (1% de serragem e 2,5% CCA).

7.3.2 Análise da retração

A associação dos dois resíduos manteve o comportamento verificado para as adições de forma individual, ou seja, a composição não apresentou trincas e a retração apresentada atendeu às recomendações do CEPED. A Figura 41 representa o desempenho das composições submetidas ao ensaio de retração e o gráfico da Figura 42 apresenta um comparativo entre os valores de retração verificado para as

composições. Sendo que, os dados referentes aos ensaios de retração são explicitados no Apêndice C: Tabela 37.

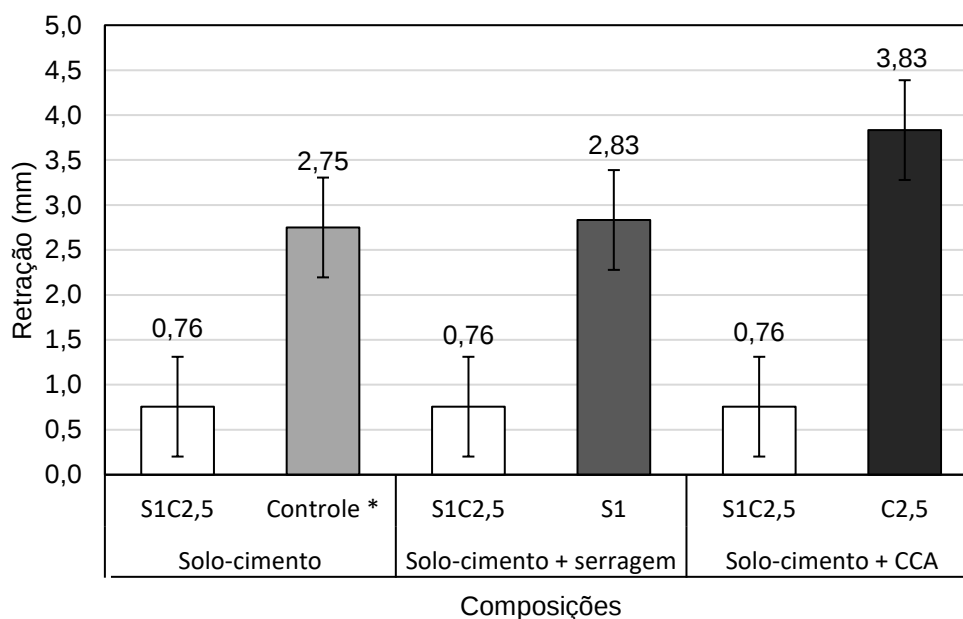
Figura 41 - Aspecto das amostras após o ensaio de retração.



* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Figura 42 - Valores de retração das amostras



* Valores obtidos de Novato (2019).

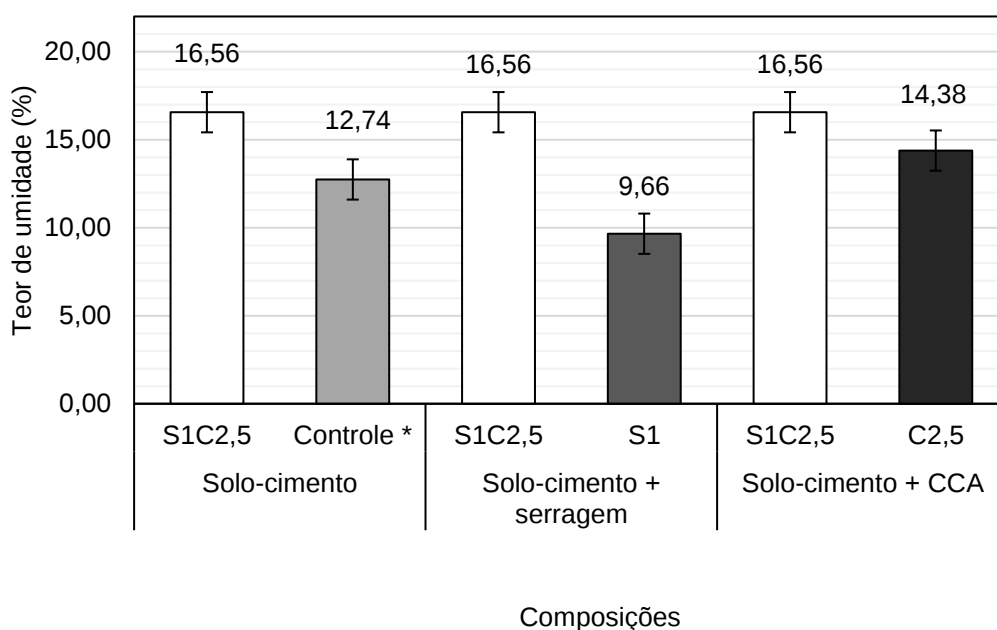
Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Na Figura 42 observa-se, o decréscimo na retração dos blocos com a associação dos dois resíduos. A composição S1C2,5, apresenta um decréscimo da ordem de 72%, 73% e 80% em relação a amostra controle, S-1 e C-2,5, respectivamente. Diante do exposto, pode-se concluir, que a adição simultânea dos dois resíduos é satisfatória, analisando a retração das misturas.

7.3.3 Análise do teor de umidade, da absorção de água e resistência à compressão simples crítica

Para a confecção dos blocos, a quantidade de água necessária foi de 22,5% em relação a massa seca de solo, para as amostras S1C2,5. O teor de umidade das misturas aos 7 dias é mostrado na Figura 43, observa-se inicialmente que as amostras S1C2,5 acarretaram o aumento do teor de umidade relação as demais composições. Os dados para determinação do teor de umidade são explicitados no Apêndice C: Tabela 38.

Figura 43 - Teor de umidade dos blocos.

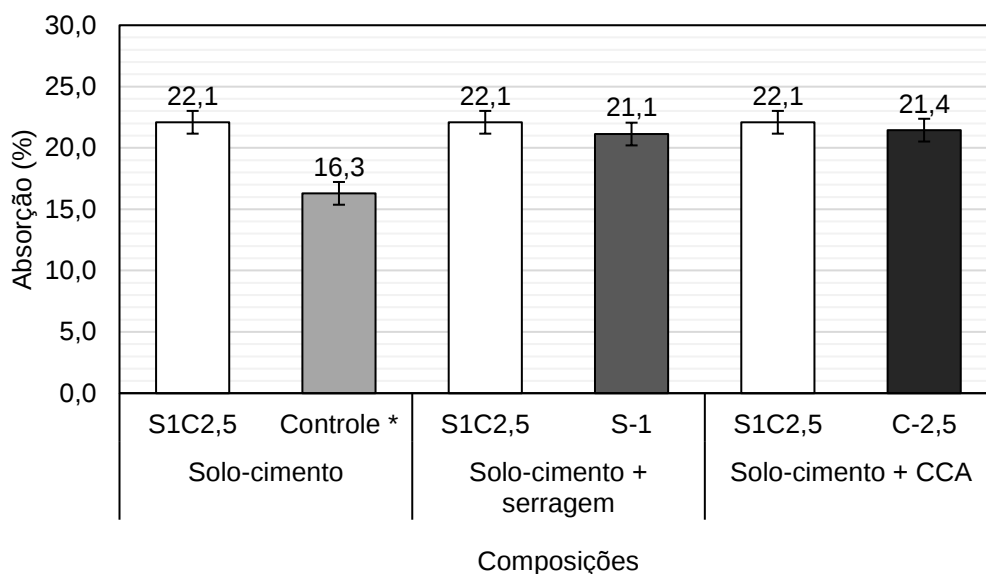


* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Figura 44 apresenta um gráfico com a comparação do teor de absorção de água das composições, sendo possível observar que a amostra S1C2,5 apresentou o maior valor de absorção de água. Os dados referentes aos ensaios de absorção são explicitados no Apêndice C: Tabela 39.

Figura 44 - Absorção média dos blocos aos 7 dias.



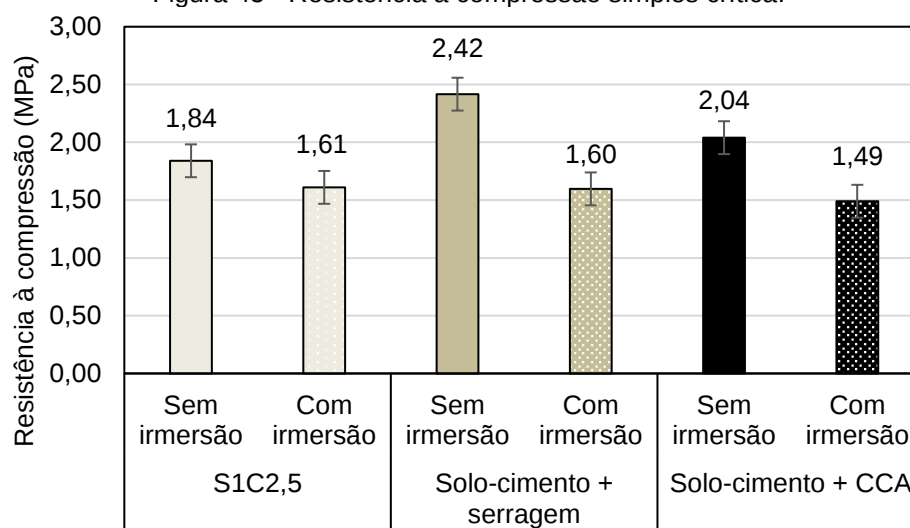
* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

De acordo com o teste T (Apêndice C: Tabela 40, Tabela 41 e Tabela 42), observa-se que o aumento da absorção da composição S1C2,5, apresenta diferença significativa em relação a amostra controle. No entanto, em relação as amostras S-1 e C-2,5 não apresenta diferença s significativa. Diante disso, tem-se que a adição simultânea, nos teores mencionados, dos resíduos de CCA e serragem não prejudicam, significativamente, a absorção dos blocos. Todas as misturas com adição de resíduos apresentam teor de umidade maior que 20% aos sete dias. Diante disso, não atendem às especificações da NBR 8492 (ABNT, 1984), que estabelece, o valor médio de 20%, como o máximo e, nenhum valor superior a 22%, não sendo recomendadas para confecção de elementos construtivos segundo este critério.

Os resultados de resistência à compressão simples crítica (com imersão), são apresentados na Figura 45, sendo explicitados no Apêndice C: Tabela 43. O valor médio de resistência à compressão da composição S1C2,5 verificado após a imersão em água foi de 1,61 MPa, apresentando um decréscimo significativo de 0,23 MPa em relação aos blocos rompidos sem imersão (Apêndice C: Tabela 44).

Figura 45 - Resistência à compressão simples crítica.



Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Apesar de não atenderem aos critérios normativos referentes à resistência à compressão e à absorção de água a composição S1C2,5 é a que apresenta menor perda de resistência quando imersa em água (12%). As misturas S1 e C2,5, na mesma condição, apresentam respectivamente perdas de resistência da ordem de 34% e 27% em relação aos blocos não submetidos ao processo de imersão.

8 CONCLUSÃO

Por meio dos ensaios realizados nos tijolos de solo cimento com adição de serragem e CCA, pôde-se observar que a resistência mínima exigida pela NBR 8492 (ABNT, 1984) de 2,0 MPa foi atendida somente pelos teores de adição mais baixos, de 1% de serragem de madeira e 2,5% de CCA. A coloração escura da cinza, segundo Vessozi (2016), indica baixa atividade pozzolânica, ou seja, baixa capacidade de interagir com o cimento formando material aglomerante. De qualquer forma, a CCA poderia ser utilizada como carga mineral (“filler”) sem que afetasse a resistência final da mistura, o que pode não ter ocorrido em teores elevados de CCA.

O solo-cimento-serragem (com teor de 1,0 %) apresentou maior valor médio de resistência à compressão simples em relação à amostra controle e com adição de CCA. Os resultados do ensaio de compressão simples demonstram que a incorporação da serragem até o teor de 3%, apresenta potencial para ser utilizado na confecção de tijolo de adobe.

De maneira geral os blocos com adições individuais do resíduo de serragem de madeira e CCA apresentaram resistência superior aos corpos de prova com adição simultânea dos dois resíduos. Também foi possível observar que todas as composições com adição de resíduo apresentaram um aumento na absorção de água em relação à amostra controle. Além disso a variação da taxa de absorção de água foi diretamente proporcional ao teor de resíduo incorporado. Sendo que, a amostra S1C2,5 apresentou o maior valor médio de absorção de água (22,1%). Verificou-se ainda uma relação inversa entre a resistência à compressão simples e absorção de água, para o período de cura analisado. A capacidade de absorção de água apresenta relação direta com a porosidade do material, sendo que quanto maior a porosidade, menor a resistência deste. De acordo com Neville (2016) esse mesmo comportamento é observado para outros materiais como aço inoxidável, gesso e o próprio concreto.

A quantidade de água utilizada para produção dos corpos de prova também pode estar relacionada com a porosidade e com o decréscimo na resistência dos blocos. A quantidade de água utilizada teve um acréscimo diretamente proporcional aos teores dos dois resíduos individualmente e simultaneamente, para manter a trabalhabilidade desejada.

Nos testes de retração, a incorporação dos dois resíduos simultaneamente, amostra S1C2,5, se destacou significativamente, em relação às amostras controle, S-1 e C-2,5. De qualquer forma, todas as amostras obtiveram valores de retração que atendem ao máximo recomendado pelo CEPED.

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que o material com adição simultânea dos resíduos, serragem de madeira (1%) e CCA (2,5%), não é adequado para o uso na construção civil, principalmente no que diz respeito à resistência à compressão e absorção de água. Todavia, quando incorporados à matriz solo-cimento de forma individual, tanto a serragem como a CCA apresentam potencial para serem utilizados na confecção de blocos ecológicos. Apesar das misturas S-1 e C-2,5 não atenderem ao critério de absorção de água, as duas composições apresentam comportamento satisfatório em relação à retração e resistência à compressão.

A coloração escura da CCA indica elevado teor de carbono amorfo, que é responsável pelo acréscimo na absorção de água dos tijolos de adobe. Diante disso, a absorção de água dos blocos pode ser reduzida através do tratamento prévio da casca de arroz com uma solução de ácido clorídrico (HCl), com o intuito de dissolver os óxidos básicos mais solúveis em água (KRISHNARAO et al., 2001 apud TASHIMA, 2006; TASHIMA, 2006). Pode-se também, realizar a compactação dos blocos, visto que, proporciona melhorias nas propriedades do solo como o aumento de sua densidade e redução dos índices de vazios. Dessa forma, confere aos blocos de adobe maior resistência, menor compressibilidade e permeabilidade (SANTOS, 2009).

9 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABIKO, A. K. **Tecnologias apropriadas: tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento**. 115 p. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1984.

AGOPYAN, V. JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. Coordenador José Goldemberg. Volume 5. Série Sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2011.

ALCÂNTARA, M. A. M. **Estabilização química de solos para fins rodoviários: Técnicas disponíveis e estudo de caso dirigido à estabilização solo-cal de três solos de Ilha Solteira - SP**. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa – UFV. Viçosa, 1995. 91p.

ALCANTARA, M. A. M.; SANTOS, L. P.; LIMA, D. C.; SEGANTINI, A. A. S.; AKASAKI, J. L. **O uso de cinzas de casca de arroz como aditivo auxiliar na produção de tijolos solo-cal**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, nº3, vol 1, 1-11. 2011.

ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. 2005.

ALVES, A. C. A. **Extração de sílica residual proveniente da casca de arroz e aplicação na produção de argamassa**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, 2018. v.13, n.2, 127-136.

ANGULO, S. C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 155p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. ABCP Boletim Técnico. São Paulo, 1985 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento**. 7ed. São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004 – Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578 – Cimento Portland Composto**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459** – Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502** – Rochas e solo – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180** – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181** – Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 2016d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182** - Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492** – Tijolo de Solocimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção D'Água. Rio de Janeiro, 1984.

BARBOSA, M. B. **Utilização de resíduos de cinzas de casca de arroz e borrachas de pneus em concreto de elevado desempenho**. FEIS/UNESP. Ilha Solteira, 2006, 147 p.

BARRETO, I. M. C. B. N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Sinduscon: Sergipe, 2005.

BASHA E.A.; HASHIM, R.; MAHMUD, H.B.; MUNTOHAR, A.S. **Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement**. Construction and Building Materials. n.19, p.448–53, 2005.

BERALDO, A. L.; NAAS, I. A.; FREIRE, W. J. **Construções rurais: materiais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991. p.105-61.

BERDNARSKI, C. **Pirelli usa casca de arroz na produção de pneus**. Auto Informe, 2015.

BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**. Tese de Mestrado. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, fev. 2010. 108p.

BOUTH, J. A. C. **Estudo da Potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais – uma alternativa de baixo custo para a construção civil**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

BRAND, M. A. et al. **Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais**. dez. 2002.

BRANDON, P.S. **Sustainability in management and organisation: the key issues?** In: Cib Building Congress – materials and technologies for sustainable construction. Suíça, 1988. p.1739-47.

BRASILEIRO, L. L. et al. **Reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil.** Cerâmica, 2015. vol. 61, 358.

BUSON, M. A. **Kraftterra: Desenvolvimento e Análise Preliminar do Desempenho Técnico de Componentes de Terra com a Incorporação de Fibras de Papel Kraft Provenientes da Reciclagem de Sacos de Cimento para Vedação Vertical.** Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 2009

CAMPOS, M. S. D. **Aproveitamento das cinzas da queima da cama sobreposta de suínos para substituição parcial do cimento Portland.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2005.

CANEPPELE, J. W. **Estabilização de um solo residual com adição de cimento Portland.** Centro Universitário UNIVATES. Lajeado, 2016.

CARVALHO, R. M.; VARUM, H.; BERTINI, A. **Terra crua como sistema construtivo no estado do Ceará – levantamento das construções em adobe na região norte do estado.** 2010.

CARVALHO, T. M. P. **A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil.** Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas, Tocantis, 2012.

CIWMB - California Integrated Waste Management Board. **Urban wood waste.** California, 1998.

CNA, CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E AGROPECUARIA DO BRASIL. **Caminhos para uma agricultura 4.0.** 2018.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 01, de 23 de janeiro de 1986.** Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudo de Impacto Ambiental. Publicada no Diário Oficial da União, de 17/02/1986, p. 2548-2549.

CONAMA. Resíduos da Construção Civil – **Resolução N° 307 de 05/07/2002.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2002.

CORRÊA, A. A. R. **Incorporação de partículas lignocelulósicas e “baba de cupim sintética” no adobe.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2013.

CORREA, C. J.; FERREIRA, F. F.; GUIMARÃES, M. R. **Tijolos Ecológicos de bagaço de cana-de-açúcar.** Ciência e Tecnologia, v. 5, 2013.

CORRÊA, R. A.; TEIXEIRA, H. V.; LOPES, P. S. **Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua).** Minas Gerais, 2006. 503-515 p.

DARKO, A.; CHAN, A. P.; OWUSU-MANU, D. G.; AMEYAW, E. E. **Drivers for implementing green building technologies: An international survey of experts.** *Journal of cleaner production*, 2017, p. 386-394.

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** 7ª ed. Cengage Learning, 632 p., 2011.

DELLA, V. P. **Processamento e caracterização de sílica ativa obtida a partir de cinzas de casca de arroz.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. **Reciclagem de resíduos agro-industriais: Cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica.** *Cerâmica Industrial*, v. 10, n. 2, p.22-25, 2005.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. Pau-brasil. **Lei nº 6.607**, 12 de dezembro de 1978.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003, 173 p.

FERRAZ, R. L.; BELINCANTA, A.; GUTIERREZ, N. H. M. **Estudo comparativo de alguns métodos de dosagem de misturas solo-cimento.** In: I Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura de Maringá. Universidade Estadual de Maringá, v. 1, p. 173-181, 2000.

FERREIRA, R. C.; FREIRE, W. J. **Propriedades físico-mecânicas de solos estabilizados com cimento e silicato de sódio avaliadas por meio de testes destrutivos e não-destrutivos.** *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.23, n.2, p.221-32, 2003.

FIALHO, K.; COSTA, H.; LIMA, S.; BARROS, J. **Aspectos econômicos da construção civil no Brasil.** Maceió, AL, Brasil, 2014.

FOLLETO, E. L.; HOFFMAN, R.; HOFFMAN, R. S.; PORTUGAL JR., V. L.; JAHN, S. L. **Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz.** *Química Nova*, v.28, p.1055-1060, 2005.

FONTES, P. J. P. **Auto-Suficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos.** Dissertação Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1994.

FOSSATI, M. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de projetos de edifícios: o caso de escritórios em Florianópolis.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2008.

GARZÓN, L. E. **Técnicas Mistas.** In: Técnicas de Construção com Terra. Rede IberoAmericana PROTERRA. Bauru – SP, 2011.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T. **Crescimento da Agricultura**. IPEA - Nota Técnica - Boletim de Conjuntura 60, Brasília, 2003.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <https://www.google.com.br/earth/> Acesso em 17 de junho de 2019.

GOULARTE, C. L.; PEDREIRA, C. L. S. **Estabilização química de solo com adição de cimento ou cal como alternativa de pavimento**. Seminário de Engenharia Geotécnica do Rio Grande do Sul. Pelotas, 2009.

GOUVEIA, L. G. T. et al. **Perspectivas e aplicações de resíduos agroindustriais/agrícolas na obtenção de produtos de maior valor de mercado**. In: Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe. Anais eletrônicos. São Cristóvão. 2015, p. 573-583.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo - SP, 2003. 165p.

HENRY, J. **Construção de casas em pau a pique**. Meio século de aprendizagens. 2018.

HOFFMANN, M. V. **Arquitetura e construção com terra: taipa de pilão**. Revista Restauro. ISSN 2527-1814. Edição nº1, 2017.

HOFFMANN, M. V.; MINTO, F. C. N.; HEISE, A. F. **Taipa de Pilão**. In: Técnicas de Construção com Terra. Rede Ibero-Americana PROTERRA. Bauru – SP, 2011.

HOPPE FILHO, J. **Sistemas cimento, cinza volante e cal hidratada: mecanismo de hidratação, microestrutura e carbonatação de concreto**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 247p., 2008.

HORTA, I. M.; CAMANHO, A. S.; JOHNES, J.; JOHNES, G. **Performance trends in the construction industry worldwide: an overview of the turn of the century**. Journal of Production Analysis, 2013. Lancaster. Ed. Springer, 2013. p. 39:89-99.

JAUBERTHIE, R.; RENDELL, F.; TAMBA, S.; CISSE, I. **Origin of the pozzolanic effect of rice husks**. Construction and Building Materials. n.14, p.419 -23, 2000.

JOHN, V. M. **Cinzas e aglomerantes alternativos**. Tecnologias e materiais alternativos de construção. UNICAMP. Campinas, 2003. p. 145-190.

JOHN, V. M. **Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos**. In: Seminário sobre Reciclagem e Reutilização de Resíduos como Materiais de Construção. Anais. São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. p. 21-30.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P.; LIMA, J. A. R. **Levantamento do estado da arte: Seleção de materiais**. Projeto Finep 2386/04: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007, 58p.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese Livre Docência. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000. 102p.

KARPINSK, L. A. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009.

KAWABATA, C. Y. **Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos e concreto leve para construção rural**. Tese de Doutorado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos. São Paulo, 2008.

KILBERT, C. J., **“Principles of Sustainable Construction”**, Proceedings of the First International Conference on Sustainable Construction, EUA, 1994. p. 1-9.

KRAINER, C. W. M. **Notas de aula**. Laboratório de mecânica dos solos. Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2016.

KURESKI, R.; RODRIGUES, R. L.; MORETTO, A. C.; SESSO FILHO, U. A.; HARDT, L. P. A. **O macrossetor da construção na economia brasileira em 2004**. Ambiente Construído. Porto Alegre, jan./mar. 2008. v. 8, n. 1, p. 7-19.

LACOMBE, J. E. A. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. Tese de Doutorado. Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

LIMA, E. G.; SILVA, D. A. **Resíduos gerados em indústria de móveis de madeira situados no pólo moveleiro de Arapongas, PR**. Revista Floresta. Curitiba, v.35, n.1, p.105–116, 2005.

LIMA, E. G.; SILVA, D. A. **Resíduos gerados em indústria de móveis de madeira situados no pólo moveleiro de Arapongas, PR**. Revista Floresta. Curitiba, v.35, n.1, p.105–116, 2005.

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

LOURENÇO, P. **Arquitetura de Terra: uma visão de futuro**. PLANETACAD Estudo – Companhia de Arquitetura e Design, 2002.

MACHADO, C. C.; LIMA, D. C.; ALMEIDA, R. M. **Estudo do comportamento da mistura solo-cimento reforçado com fibra sintética para uso em Estradas florestais**. Cerne, V.4, n.1, p.123-128, 1998.

MACHADO, C. C.; PIRES, K. M. M.; PORTUGAL, C. R. M. **Reações químicas entre solos e estabilizantes em estradas**. 7 Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transpote Florestal – SIF. Viçosa, 2005.

MARQUES, G. L. O. **Notas de aula da disciplina: Pavimentação**. Faculdade de Engenharia Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2006.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. Viçosa: FEAM/UFV, 2005

MEDINA, J. **Apostila de Estabilização de Solos** – COPPE/UFRJ. 1987.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. Editora PINI. São Paulo, 2000.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1994. 581 p.

MESA VALENCIANO, M. C.; FREIRE, W. J. **Características físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, 2004. v. 24, n. 3, p. 484-92.

MILANI A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo cimento cinza casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2008.

MILANI, A. P. S. **Avaliação físico-mecânica de tijolos de solo-cimento e de solo-cal adicionados de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2005.

MILECH, F. B. et al. **Avaliação térmica de uma estufa para secagem de tabaco**. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Anais... Pelotas: UFPEL. Pelotas, 2011.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2011. BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União 2010; 3 ago.

MONTARDO, J. P.; CONSOLI, N. C.; PRIETTO, P. D. M. **Comportamento mecânico de compósitos Solo-Cimento-Fibra: Estudo do efeito das propriedades dos materiais constituintes**. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 2001.

MORETT, H. T. **A Importância da Inserção dos Sistemas Construtivos de Solo-Cimento no Processo de Industrialização da Construção**. Rio de Janeiro: UFRJ / PROARQ / FAU, 2003. iii, 90p. il.

MOTTA, C. J.; MORAIS, W. P.; ROCHA, N. G. **Tijolo de Solo Cimento: Análise das características físicas e viabilidade econômica de técnicas construtivas sustentáveis**. Belo Horizonte, 2014. 13-26 p.

MYRRHA, M. A. L. **Solo cimento para fins construtivos**. In: FREIRE, W.J. BERALDO, A.L. Tecnologias e materiais alternativos de construção. São Paulo: Editorada UNICAMP, 2003. cap. 4, p. 95-120, 332 p.

NEFUSSI, N. **Gerenciamento de resíduos**. I encontro sobre Resíduos Sólidos industriais, Porto Alegre, 1985. Anais, p. 33-54.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B. **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p.

NEVES, C. M. M.; FARIA, O. B.; ROTONDARO, R.; SALAS, P. C.; HOFFMANN, M. V. **Seleção de Solos e Métodos de Controle na Construção com Terra – Práticas de Campo**. Rede Ibero-Americana PROTERRA, 2010.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 888p.

NOVATO, F. G. C. A. **Tijolos de adobe com solo-cimento e adição de resíduo de recapagem de pneus**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Barra do Garças, 2019.

OLHAR NA NATUREZA. **O solo quando sofre ação de queimadas e desmatamento**. Disponível em: <http://olharnatureza.blogspot.com/2010/06/o-solo-quando-sofre-acaode-queimadas-e.html>. Acesso em 6 maio de 2019.

ORTIGÃO, J. A. R. **Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos**. 3ª Edição. Terratek, 2007.

PATRICIO, J. D. **Estudo de solos modificados por adição de polímeros para uso em pavimentos rodoviários**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2015.

PAULA, M. O.; TINÔCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 13, p. 353-357, 2009.

PEREIRA, K. L. **Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos**. Dissertação de Mestrado, UFRN. Natal, 2012, 125p.

PINTO, C. S. **Propriedades dos solos**. In: Fundações: teoria e prática / Waldemar Hadrich et al. Editora Pini. São Paulo, 1998.

PINTO, F. **Arquitetura de Terra - Que futuro?** In: 7ª Conferência Inter-Nacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitetura de Terra. Lisboa, 1993. p. 612-617.

PINTO, L. M. **Estudo de tijolos de solo cimento com adição de resíduo de construção civil**. TCC de Graduação. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015. 59 p

PINTO, T. P. (Coord.) **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP**, São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP, 2005

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e gestão de resíduos da construção civil**. Manual de orientação: como implantar um sistema de manejo e gestão nos municípios, v. 1. Brasília: CEF, 2005. v. 1. 196 p.

PIRES, I. B. A. **A Utilização do Tijolo Ecológico como Solução para Construção de Habitações Populares**. Monografia. Universidade de Salvador – UNIFACS, 2004.

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

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. Tese do doutorado. UFRGS, Porto Alegre, 2006. 320p.

PROMPT, C. **Curso de bioconstrução**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2008. 64p.

ROGERS, C. D. F.; SMALLEY, I. J. **The adobe reaction and the use of loess mud in Construction**. Construction and Building Materials, 1995. 137-138.

SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHIRMER, W. N.; SPERANDIO, H. V. **Casca de arroz carbonizada como substrato para produção de mudas de tamboril-da-mata e garapeira**. Seminário: Ciências Agrárias, 2009.

SANTOS, A. L. **Diagnóstico ambiental da gestão e destinação dos resíduos de construção e demolição (RCC): análise das construtoras associadas ao Sinduscon/RN e empresas coletoras atuantes no município de Parnamirim - RN**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009. 107 p.

SANTOS, C. A. **Construção com terra no Brasil: Panorama, Normatização e Prototipagem com Terra Ensacada**. Dissertação de Mestrado. Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina – CT/UFSC. Florianópolis, 2015.

SANTOS, M. P. D. **Fabricação de Solo-Cimento com Adição de Resíduos de Madeira Provenientes da Construção Civil**. Belo Horizonte - MG, 2009.

SANTOS, W. J.; ROCHA, D. E. M.; GONÇALVES, I. O.; PIRES, W. R. F.; ARAUJO, P. J. **Panorama da viabilidade da adição de cinza da casca de arroz ao concreto e seu potencial para as usinas de biomassa**. Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT, v. 1, n. 3, p. 59-70, 2013.

SARTORI, G. **Estudo de estabilização de solos para fins de pavimentação na região de Campo Mourão**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015

SCHNEIDER, D. M. **Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SCHNEIDER, D. M.; PHILIPPI, A. JR. **Gestão pública de resíduos da construção civil no município de São Paulo**. Ambiente Construído, 2004, p 21-32.

SCHWEIG, E. O. **Tijolos de adobe de solo-cimento reforçados com fibras de papel kraft reciclado**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Barra do Garças, 2017

SEGANTINI, A. A.; ALCANTARA, M. A. M. **Solo-cimento e solo-cal. materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. Vol. 2, IBRACON/ Editor Geraldo C. Isaia. São Paulo, 2007. p. 833-861.

SILVA, C. G. T. **Conceitos e Preconceitos relativos às Construções em Terra Crua**. Dissertação de Mestrado. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2000. 155 p.

SILVA, E. M. **Comparação de modelos matemáticos para o traçado de curvas granulométricas**. Pesq. agropec. Bras., Brasília, v.39, n.4, p.363-370, abr. 2004.

SILVA, S. R. **Tijolos de Solo-Cimento Reforçado com Serragem de Madeira**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. Belo Horizonte, 2005.

SILVEIRA, A. A. **A utilização da cinza de casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1996. 155p.

SINDUSCON. **Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP**. São Paulo: Obra Limpa; SindusCon-SP, 2005.

SON, H.; KIM, C.; CHONG, W. K.; CHOU, J. S. **Implementing sustainable development in the construction industry: constructors' perspectives in the US and Korea**. Sustainable Development, 2011, 337-347

SOUSA, H. **Construções em alvenaria**. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. FEUP, 2002.

SOUZA, B. C. C. **Gestão da mudança e da inovação: árvore de problemas como ferramenta para avaliação do impacto da mudança**. Revista de Ciências Gerenciais, Valparaíso, v. 114, n. 19, p. 89-106, 2010.

SOUZA, M. I. B. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, FEIS/UNESP. Ilha Solteira-SP, 2006.

SOUZA, R. C. J. **Problemas de conservação em construções típicas de Minas Gerais**. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte, 1996. n. 4, p. 103 - 120.

TASHIMA, M. M. **Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, 2006, 81p.

TASHIMA, M. M. et al. **Reaproveitamento da cinza de casca de arroz na construção civil**. In: HOLOS. [S.l.], v. 11, n.1, p.81-88, 2011.

TAVEIRA, E. S. N. **O solo-cimento no campo e na cidade**. Construir, Morar, Habitar. São Paulo: Editora Icone, 1987. 120p.

TEIXEIRA, L. P.; CARVALHO, F. M. A. **A construção civil como instrumento do desenvolvimento da economia brasileira**. Revista Paranaense de Desenvolvimento – IPARDES, Curitiba - PR. n. 109, jul./dez, 2005.

TORGAL, F. P. **Construção em Terra**. Universidade do Minho. Guimarães, 2009.

TORGAL, F. P.; EIRES, R. M. G.; JALALI, S. **Construção em Terra: o passado, o presente e o futuro**. Arte & Construção. Portugal, 2009.

TUOTO, M. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado**. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Curitiba: PNUD, 2009.

VARELA, M. **Granulometria. Notas de Aulas**. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Rio Grande do Norte, 2019.

VEIGA, L. F. M. **Caracterização físico-química de adobe estabilizado com amido de mandioca**. Dissertação de Mestrado. Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. Belo Horizonte - MG, 2008. 158 p.

VESSOZI, C. S. **Estudo da viabilidade de fabricação de tijolos de solo-cimento com a adição de cinza de casca de arroz**. 2016.

VIANA, H. M. F. **Notas de aulas de Mecânica dos Solos I (parte 8)**. Faculdade de Tecnologia e ciências, 2016.

VIRTUHAB. **Taipa de pilão**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

WEBER, A. M.; CECHIN, L.; TOKARSKI, R. B.; MATOSKI, A. **Análise da influência do traço nas propriedades do compósito cimento-madeira**. Revista Principia, nº 36. IFPB, 2017.

WEBER, L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

ZWAN, J. T. **Application of waste materials – a success now, a success in the future**. In: Waste Materials in Constructions: putting theory into practice. Great Britain, 1997. p.869-81.

APÊNDICE A – TABELAS DE RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO E RETRAÇÃO - CCA

A Tabela 16 e Tabela 17 apresentam os valores de resistência à compressão simples aos 7 dias de cura e a análise de variância sobre a variável resistência à compressão simples, respectivamente.

Tabela 16 - Resistência à compressão simples - CCA

Teor	Corpo de Prova	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência média à compressão simples (MPa)
Controle*	1	2,47	2,27
	2	2,63	
	3	2,6	
	4	2,3	
	5	2,75	
	6	2,56	
C-2,5	1	1,59	2,04
	2	1,67	
	3	1,93	
	4	2,08	
	5	2,10	
	6	2,19	
	7	2,20	
	8	2,20	
	9	2,21	
	10	2,22	
C-5	1	1,77	1,95
	2	1,78	
	3	1,79	
	4	1,80	
	5	1,88	
	6	1,95	
	7	2,03	
	8	2,07	
	9	2,12	
	10	2,35	
C-10	1	1,26	1,39
	2	1,30	
	3	1,30	
	4	1,32	
	5	1,36	
	6	1,38	
	7	1,42	
	8	1,45	
	9	1,52	
	10	1,60	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 17 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável resistência à compressão simples.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	4,16563	3	1,38854	22,15	2,65E-08	2,866266
Dentro dos grupos	2,25644	36	0,0626789			
Total	6,42207	39				

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 18 e Tabela 19 apresentam os valores de retração da CCA e a análise de variância sobre a variável retração, respectivamente.

Tabela 18 - Retração das amostras de CCA.

Teor	Medição do lado direito (mm)	Medição do lado esquerdo (mm)	Média da retração final (mm)
Controle*	1,0	2,0	2,75
	1,0	2,0	
	2,0	1,0	
	1,0	1,0	
C-2,5	1,5	2,0	3,83
	2,0	2,0	
	2,0	2,0	
C-5	1,5	1,5	3,17
	1,5	2,0	
	1,5	1,5	
C-10	1,0	1,0	2,00
	1,5	1,0	
	0,5	1,0	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 19 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável retração.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	5,33974	3	1,77991	10,12	0,003051
Dentro dos grupos	1,58333	9	0,175926		
Total	6,92308	12			

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 20 apresenta os valores para determinação do teor de umidade.

Tabela 20 - Teor de umidade dos blocos.

Bloco	Massa Bruta (kg)	Massa Seca (kg)	Umidade individual (%)	Umidade Média (%)
C-2,5	3,795	3,280	15,701	14,382
	3,600	3,160	13,924	
	3,820	3,365	13,522	
C-5	3,845	3,310	16,163	15,601
	3,875	3,370	14,985	
	3,805	3,290	15,653	
C-10	3,600	2,960	21,622	23,086
	3,589	2,885	24,402	
	3,697	3,000	23,233	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 21 e Tabela 22 apresentam os valores de absorção e a análise de variância sobre a variável absorção de água, respectivamente.

Tabela 21 - Absorção aos 7 dias de cura.

Teor	Bloco	Absorção individual (%)	Média da absorção (%)
Controle*	1	15,18	16,29
	2	16,35	
	3	17,35	
C-2,5	1	21,49	21,45
	2	22,78	
	3	20,06	
C-5	1	19,18	20,26
	2	20,47	
	3	21,12	
C-10	1	25,68	25,95
	2	26,00	
	3	26,17	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 22 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de CCA sobre a variável absorção.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	142,098	3	47,3661	46,47	2,088E-05
Dentro dos grupos	8,15482	8	1,01935		
Total	150,253	11			

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 23 e Tabela 24 apresentam os valores de resistência à compressão simples crítica e a análise de variância sobre a amostra C-10, respectivamente.

Tabela 23 - Resistência à compressão simples crítica.

Teor	Corpo de Prova	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência média à compressão simples (MPa)
C-2,5	1	1,38	1,49
	2	1,26	
	3	1,85	
C-5	1	1,52	1,51
	2	1,78	
	3	1,78	
C-10	1	1,74	1,60
	2	1,45	
	3	1,61	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 24 - Teste T Student para amostra C-10.

	SEM IMERSÃO	COM IMERSÃO
Média	1,392389688	1,600447917
Variância	0,011333773	0,022019748
Observações	10	3
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	-2,260261977	
P(T<=t) bi-caudal	0,108899613	
t crítico bi-caudal	3,182446305	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

APÊNDICE B – TABELAS DE GRANULOMETRIA, RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO E RETRAÇÃO - SERRAGEM

A Tabela 25 apresenta os valores obtidos após o ensaio de peneiramento da serragem de madeira.

Tabela 25 - Dados do ensaio granulométrico.

N Peneiras	Peneiras (mm)	Massa retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	% Passante
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	5,3	2,79	2,79	97,21
4	4,75	38,1	20,05	22,84	77,16
8	2,36	37,5	19,74	42,58	57,42
16	1,18	48,1	25,32	67,89	32,11
30	0,6	27,1	14,26	82,16	17,84
40	0,425	12,5	6,58	88,74	11,26
50	0,3	3,5	1,84	90,58	9,42
100	0,15	12,6	6,63	97,21	2,79
200	0,075	4,4	2,32	99,53	0,47
Fundo	-	0,9	0,47	100,00	0,00
Total		190	100,00	-	-

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 26 e Tabela 27 apresentam os valores de resistência à compressão simples aos 7 dias de cura e a análise de variância sobre a variável resistência à compressão simples, respectivamente.

Tabela 26 - Resistência à compressão simples

Teor	Corpo de Prova	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência média à compressão simples (MPa)
Controle*	1	2,47	2,27
	2	2,63	
	3	2,6	
	4	2,3	
	5	2,75	
	6	2,56	
S-1	1	2,18	2,42
	2	2,21	
	3	2,22	
	4	2,34	
	5	2,34	
	6	2,42	
	7	2,42	
	8	2,51	
	9	2,70	
	10	2,83	
S-3	1	1,61	1,72
	2	1,61	
	3	1,63	
	4	1,67	
	5	1,71	
	6	1,72	
	7	1,76	
	8	1,77	
	9	1,85	
	10	1,88	
S-5	1	1,64	1,85
	2	1,75	
	3	1,76	
	4	1,80	
	5	1,81	
	6	1,84	
	7	1,88	
	8	1,95	
	9	1,96	
	10	2,13	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 27 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de serragem sobre a variável resistência à compressão simples – aos 7 dias de idade.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	3,283666	3	1,094555	19,76798	9,60E-08	2,866266
Dentro dos grupos	1,993324	36	0,05537			
Total	5,27699	39				

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 28 e Tabela 29 apresentam os valores de retração e teor de umidade da serragem de madeira.

Tabela 28 - Retração das amostras de serragem

Teor	Medição do lado direito (mm)	Medição do lado esquerdo (mm)	Média da retração final (mm)
Controle*	1,0	2,0	2,75
	1,0	2,0	
	2,0	1,0	
	1,0	1,0	
S-1	1,0	1,5	2,8
	1,5	1,5	
	1,5	1,5	
S-3	1,0	1,0	2,0
	1,0	1,0	
	1,0	1,0	
S-5	0,5	0,5	1,0
	0,5	0,5	
	0,5	0,5	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 29 - Valores obtidos para determinação do teor de umidade.

Bloco	Massa Bruta (kg)	Massa Seca (kg)	Teor de umidade (%)	Teor de umidade Média (%)
S-1	3,495	3,220	8,540	9,658
	3,525	3,215	9,642	
	3,645	3,290	10,790	
S-3	3,625	3,215	12,753	15,081
	3,575	3,130	14,217	
	3,560	3,010	18,272	
S-5	3,385	2,900	16,724	16,407
	3,470	2,980	16,443	
	3,470	2,990	16,054	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 30 e Tabela 31 apresentam os valores de absorção e a análise de variância sobre a variável absorção de água, respectivamente.

Tabela 30 - Absorção aos 7 dias de cura.

Teor	Bloco	Absorção individual (%)	Média da absorção (%)
Controle*	1	15,18	16,29
	2	16,35	
	3	17,35	
S-1	1	21,43	21,13
	2	20,68	
	3	21,28	
S-3	1	22,86	23,53
	2	23,80	
	3	23,92	
S-5	1	23,79	25,46
	2	25,67	
	3	26,92	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 31 - Análise de variância referente aos efeitos da variação dos teores de serragem sobre a variável absorção.

Fonte da variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P
Entre grupos	141,049	3	47,0164	45,29	2,3E-05
Dentro dos grupos	8,30525	8	1,03816		
Total	149,354	11			

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 32 apresenta os valores de resistência à compressão simples crítica.

Tabela 32 - Resistência à compressão simples crítica.

Teor	Corpo de Prova	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência média à compressão simples (MPa)
S-1	1	1,60	1,60
	2	1,57	
	3	1,63	
S-3	1	1,17	1,36
	2	1,29	
	3	1,63	
S-5	1	1,26	1,33
	2	1,31	
	3	1,40	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

APÊNDICE C – TABELAS DE RESISTÊNCIA, ABSORÇÃO E RETRAÇÃO – SERRAGEM+CCA

A Tabela 33 apresenta os valores de resistência à compressão simples aos 7 dias de cura. A Tabela 34, Tabela 35 e Tabela 36 apresentam o resultado do teste T Student para resistência à compressão.

Tabela 33 - Resistência à compressão simples.

Teor	Corpo de Prova	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência média à compressão simples (MPa)
Controle*	1	2,47	2,27
	2	2,63	
	3	2,6	
	4	2,3	
	5	2,75	
	6	2,56	
S1C2,5	1	2,00	1,84
	2	1,79	
	3	1,71	
	4	1,86	
	5	1,74	
	6	2,14	
	7	1,86	
	8	1,81	
	9	1,73	
	10	1,74	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 34 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra controle e S1C2,5.

	S1C2,5	CONTROLE
Média	1,838131458	2,2687
Variância	0,019052087	0,148491233
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
gl	11	
Stat t	-3,326432666	
P(T<=t) bi-caudal	0,006753827	
t crítico bi-caudal	2,20098516	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 35 - Resultado do Teste T Student para resistência, amostra S-1 e S1C2,5.

	S1C2,5	1% SERRAGEM
Média	1,838131458	2,416335833
Variância	0,019052087	0,045065563
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
gl	15	
Stat t	-7,220920657	
P(T<=t) bi-caudal	2,9697E-06	
t crítico bi-caudal	2,131449546	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 36 - Resultado do Teste T Student para a resistência, amostra C-2,5 e S1C2,5.

	S1C2,5	2,5 % CCA
Média	1,838131458	2,038357708
Variância	0,019052087	0,054401184
Observações	10	10
Hipótese da diferença de média	0	
gl	15	
Stat t	-2,336229172	
P(T<=t) bi-caudal	0,03376951	
t crítico bi-caudal	2,131449546	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 37 e Tabela 38 apresenta os valores de retração e teor de umidade, respectivamente.

Tabela 37 - Retração das amostras S1C2,5.

Teor	Medição do lado direito (mm)	Medição do lado esquerdo (mm)	Média da retração final (mm)
Controle*	1,00	2,00	2,75
	1,00	2,00	
	2,00	1,00	
	1,00	1,00	
S1C2,5	0,51	0,59	0,76
	0,66	0,00	
	0,51	0,00	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 38 - Dados para determinação do teor de umidade.

Bloco	Massa Bruta (kg)	Massa Seca (kg)	Umidade (%)	Umidade Média (%)
S1C2,5	3,695	3,205	15,289	16,561
	3,625	3,060	18,464	
	3,675	3,170	15,931	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 39 apresenta os valores de absorção. A Tabela 40, Tabela 41 e Tabela 42 apresentam os resultados do teste T Student para absorção de água.

Tabela 39 - Absorção dos blocos.

Teor	Bloco	Absorção individual (%)	Média da absorção (%)
Controle*	1	15,18	16,29
	2	16,35	
	3	17,35	
C-2,5	1	19,34	22,09
	2	24,84	
	3	22,08	

* Valores obtidos de Novato (2019).

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 40 - Resultado do Teste T Student para a absorção, amostra controle e S1C2,5.

	S1C2,5	CONTROLE
Média	22,08779801	16,29333333
Variância	7,540067415	1,179633333
Observações	3	3
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	3,398780803	
P(T<=t) bi-caudal	0,042499394	
t crítico bi-caudal	3,182446305	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 41 - Resultado do Teste T Student para a absorção, amostra S-1 e S1C2,5

	S1C2,5	1 % SERRAGEM
Média	22,08779801	21,12981985
Variância	7,540067415	0,154645198
Observações	3	3
Hipótese da diferença de média	0	
gl	2	
Stat t	0,59816367	
P(T<=t) bi-caudal	0,610446984	
t crítico bi-caudal	4,30265273	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Tabela 42 - Resultado do Teste T Student para a absorção, amostra C-2,5 e S1C2,5.

	S1C2,5	2,5 % CCA
Média	22,0878	21,44604931
Variância	7,540067	1,858634341
Observações	3	3
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	0,36257	
P(T<=t) bi-caudal	0,740964	
t crítico bi-caudal	3,182446	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A Tabela 43 apresenta os valores de resistência à compressão simples crítica.

A Tabela 44 apresenta os resultados do teste T Student para compressão crítica.

Tabela 43 - Resistência à compressão crítica.

Teor	Corpo de Prova	Resistência à compressão simples (MPa)	Resistência média à compressão simples (MPa)
S1C2,5	1	1,64	1,61
	2	1,61	
	3	1,58	

Tabela 44 - Teste T Student para amostra S1C2,5.

	Sem imersão	Com imersão
Média	1,838131458	1,609528472
Variância	0,019052087	0,001047455
Observações	10	3
Hipótese da diferença de média	0	
gl	11	
Stat t	4,814711001	
P(T<=t) bi-caudal	0,000540442	
t crítico bi-caudal	2,20098516	

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)