



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CHRISTIAN MATIAS MIRANDA

**ESTUDO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DO SOLO
POR RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUA COMPOSIÇÃO**

Palmas-TO
2019

CHRISTIAN MATIAS MIRANDA

**ESTUDO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DO SOLO
POR RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUA COMPOSIÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo

Palmas-TO
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- M672e Miranda, Christian Matias .
 Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição. / Christian Matias Miranda. – Palmas, TO, 2019.
 87 f.

 Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Civil, 2019.
 Orientadora : Orieta Soto Izquierdo

 1. Tijolos de vedação. 2. Tijolos ecológicos. 3. Resíduos da Construção civil. 4. Construções Sustentáveis. I. Título

CDD 624

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

CHRISTIAN MATIAS MIRANDA

**ESTUDO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COM SUBSTITUIÇÃO DO SOLO
POR RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA SUA COMPOSIÇÃO**

Monografia submetida à disciplina Projeto de Graduação II, do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Tocantins, para fins de desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso, aprovada pela seguinte Banca Examinadora:

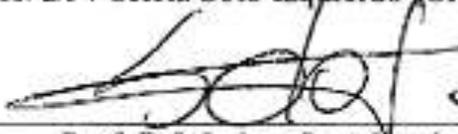
Data de aprovação:

03/12/2019

Banca examinadora:



Prof. Drª. Orieta Soto Izquierdo (Orientadora), UFT



Prof. Drª. Indara Soto Izquierdo, UFT



Daniella Carvalho de Mendonça, AESS

Dedico este trabalho aos meus pais, que com muito esforço tornaram possível a conclusão de mais uma etapa de vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família que têm me apoiado.

À Prof. Dra. Orieta Soto Izquierdo orientadora deste trabalho, pelas orientações e incentivo.

À Prof. Dra. Indara Soto Izquierdo, pela atenção e orientação.

À arquiteta Daniella Carvalho de Mendonça, por ter apresentado o tema na prática e pelas orientações.

À Liga Acadêmica de Construção Civil da Universidade Federal do Tocantins – LIACC, pela assistência no desenvolvimento prático deste trabalho.

À técnica do Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFT, Jéssica Viana pela permissão de acesso e do uso das instalações e equipamentos necessários para a realização dos ensaios.

E aos amigos e colegas presentes durante o curso, em especial à Vinicius Ferreira e Luan Felipe Rodrigues da Luz, pelo auxílio na parte prática deste trabalho.

A todos, muito obrigado.

MIRANDA, Christian Matias. **Estudo de tijolos de solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição.** 2019. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

RESUMO

A construção sustentável é uma forma de construir em equilíbrio com o meio ambiente, buscando sempre minimizar os impactos à natureza, sendo indispensável, a utilização de materiais recicláveis e de menor impacto ambiental. Assim, tem-se aumentado a preocupação em construir com materiais que produzam menos resíduos, ou até mesmo que permitam a sua reutilização. Dessa forma, o tijolo solo-cimento com adição de resíduos da construção civil se apresenta como um produto de grande potencial, pois apresenta as vantagens de ser produzido sem a necessidade da queima da madeira e possibilita a adição de materiais reciclados. Desse modo, este trabalho tem como objetivo principal estudar o comportamento do tijolo solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil. Para isso, optou-se por trabalhar com a dosagem em volume 1:10 (cimento:solo) com quatro traços diferentes: 0%, 10%, 20% e 30% de resíduo em substituição ao volume de solo. Foram feitos ensaios de caracterização dos materiais, solo e resíduo da construção civil, além de ensaios de absorção de água aos 7 dias, e resistência à compressão simples aos 7 e 28 dias de idade. Os resultados mostraram que todos os traços com substituição de parte do solo por resíduos da construção civil atingiram resistência média à compressão de 2 MPa exigido pela norma ABNT NBR 8491 (2012) aos 28 dias de idade, para tijolos de vedação. Teve-se a utilização da análise estatística com o teste ANOVA, que demonstrou que a substituição de resíduos da construção pelo solo influencia na resistência à compressão média dos tijolos. E com o “teste T” que demonstrou que o traço que alcança valores superiores de resistência, inclusive maiores que o referencial, é o traço com 10% de substituição (TR10). Por fim, considera-se a substituição de resíduo da construção civil pelo solo uma alternativa sustentável para a produção de componentes construtivos, neste caso tijolos ecológicos. Desta forma, conclui-se que os traços utilizados nesta pesquisa são ideais para a confecção de tijolos solo-cimento com função não estrutural.

Palavras-Chave: Tijolos de vedação. Tijolos ecológicos. Solo-cimento. Resíduos da Construção civil. Construções Sustentáveis.

MIRANDA, Christian Matias. **Study of soil-cement bricks with replacement of soil by construction residues in its composition.** 2019. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

ABSTRACT

Sustainable construction is a way of building in balance with the environment, always seeking to minimize impacts on nature, being indispensable the use of recyclable materials and less environmental impact. Thus, there has been a growing concern to build with materials that produce less waste, or even allow its reuse. Thus, the soil-cement brick with the addition of construction residues presents itself as a product of great potential, as it has the advantages of being produced without the need for wood burning and allows the addition of recycled materials. Thus, this work has as main objective to study the behavior of soil-cement brick with replacement of soil by construction residues. For this, it was decided to work with the volume dosing 1:10 (cement: soil) with four different traits: 0%, 10%, 20% and 30% of residue in substitution of the soil volume. Characterization tests of materials, soil and construction residue were performed, as well as water absorption tests at 7 days and simple compressive strength at 7 and 28 days of age. The results showed that all traces with replacement of part of the soil by construction residues reached the average compressive strength of 2 MPa required by ABNT NBR 8491 (2012) at 28 days of age for sealing bricks. Statistical analysis was used with the ANOVA test, which demonstrated that the substitution of construction residues by the soil influences the average compressive strength of the bricks. And with the "T test" that showed that the trait that reaches higher resistance values, even higher than the reference, is the 10% substitution trait (TR10). Finally, the replacement of construction waste by soil is considered a sustainable alternative for the production of building components, in this case ecological bricks. Thus, it is concluded that the traces used in this research are ideal for the construction of soil-cement bricks with non-structural function.

Keywords: Sealing bricks. Ecological bricks. Cement soil. Construction waste. Sustainable Constructions.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos materiais pela AASHTO.....	18
Tabela 2- Critérios para a seleção de solos.....	28
Tabela 3 - Produtividade das prensas para componentes de solo estabilizado.....	30
Tabela 4 - Tipos e dimensões manuais (mm).....	32
Tabela 5 - Limites especificados para controle de qualidade de tijolos de solo-cimento.	32
Tabela 6 – Traços e Porcentagens de Materiais na mistura em volume.....	45
Tabela 7 – Quantidade de tijolos a serem moldados e ensaiados.....	50
Tabela 8- Distribuição Granulométrica de acordo com a (USDA) do solo vermelho (SV), solo argiloso (SA) e resíduo da construção civil (RCC).	56
Tabela 9- Classificação do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA) e do resíduo (RCC).. ...	57
Tabela 10- Massa específica do solo vermelho (SV), solo argiloso (AS) e do resíduo da construção civil (RCC).	58
Tabela 11- Limite de Liquidez do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA)e do resíduo (RCC).	60
Tabela 12- Limite e índice de plasticidade do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA) e resíduo (RCC).....	60
Tabela 13 – Absorção dos tijolos aos 7 dias.....	62
Tabela 14- Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variância dos traços em 7 e 28 dias.....	63
Tabela 15- Comparativo de resistência à compressão entre 7 e 28 dias.	65
Tabela 16- Anova da resistência média à compressão simples (7 dias).....	66
Tabela 17 – Anova da resistência média à compressão simples (28 dias).	67
Tabela 18- Teste T para os valores da resistência média à compressão simples dos traços (28 dias).	67
Tabela 20 – Resistência à compressão simples traço TR0 para 7 e 28 dias.....	78
Tabela 21 - Resistência à compressão simples traço TR10 para 7 e 28 dias.....	78
Tabela 22 - Resistência à compressão simples traço TR20 para 7 e 28 dias.....	79
Tabela 23 - Resistência à compressão simples traço TR30 para 7 e 28 dias.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Taipal e Pilão	11
Figura 2 – Moldagem do bloco de adobe.	11
Figura 3 – Elementos de estrutura taipa de mão.....	12
Figura 4- Barro prensado na trama de pau-a-pique.	13
Figura 5 -Aparelho para determinação do limite de liquidez.	15
Figura 6- Classificação textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).	17
Figura 7- Classificação solos grossos Sistema Unificado Classificação dos solos (SUCS). ...	19
Figura 8- Classificação solos finos Sistema Unificado Classificação dos solos (SUCS).	20
Figura 9 – Curva de Compactação.	21
Figura 10- Mapa de Solos de Palmas-TO.....	22
Figura 11 – Tijolo solo-cimento	27
Figura 12 – Prensa Manual CINVA- Ram	27
Figura 13- Umidade de moldagem (teste tátil e visual).....	29
Figura 14- Prensagem da mistura solo-cimento.	31
Figura 15 - Composição Gravimétrica para os períodos seco e chuvoso, Palmas-TO.....	35
Figura 16- Usina de Reciclagem de Entulhos – RCC de Palmas-TO	36
Figura 17- Tijolo solo-cimento fabricado com cédulas de dinheiro.....	37
Figura 18- Tijolos solo-cimento com adição de fibras e cinzas de cana-de-açúcar.	37
Figura 19- Tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de concreto.	38
Figura 20- Solo a ser utilizado para a confecção dos tijolos ecológicos.	39
Figura 21 – RCC . A - Sem processamento. B - Em processamento.	40
Figura 22- Cimento utilizado na fabricação dos tijolos.....	40
Figura 23- Fluxograma da metodologia.	41
Figura 24- Solos e RCC separados para caracterização.	42
Figura 25 – Estufa.	43
Figura 26- Aparelho de Casagrande.	43
Figura 27- Peneiras.....	43
Figura 28- Balança Analítica.....	43
Figura 29- Beckers	44
Figura 30- Proveta.	44
Figura 31- Picnômetro.	44

Figura 32- Quebra do tijolo ao retirá-lo da prensa.	46
Figura 33 - Solo argiloso (SA).	47
Figura 34- Separação dos materiais (traço TR30).	47
Figura 35- Homogeneização do material de forma manual.	48
Figura 36 - Consistência de moldagem (teste tátil e visual).	48
Figura 37- Prensagem dos tijolos. A-Colocação da mistura no dosador da máquina.	49
Figura 38- Finalização dos tijolos. A-Limpeza dos tijolos com ar comprimido.	50
Figura 39 – Capeamento dos tijolos. A- Ligação do meio. B- Capeamento das superfícies. ..	51
Figura 40- Compressão dos tijolos. A- Prensa utilizada. B- Corpo de prova na prensa.	52
Figura 41- Tijolo rompido.	52
Figura 42- Secagem dos corpos de prova para ensaio de absorção.	53
Figura 43- Pesagem dos corpos de provas saturados.	54
Figura 44- Curvas granulométricas do SV, SA e RCC.	58
Figura 45- Gráfico Limite de Liquidez SV.	59
Figura 46- Gráfico Limite de Liquidez SA.	59
Figura 47- Gráfico Limite de Liquidez RCC.	59
Figura 48- Absorção dos tijolos aos 7 dias.	62
Figura 49- Resistência à compressão simples para 7 e 28 dias.	64

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ACII	Argamassa Colante tipo II
AESS	Associação dos Empreendedores em Soluções Sustentáveis
Aniteco	Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico
Anova	Análise de Variância
BNH	Banco Nacional de Habitação
C.V.	Coefficiente de Variância
Ceped	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
CIB	Conselho Internacional da Construção
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CP	Corpo de Prova
D.P.	Desvio Padrão
DNER	Departamento Nacional de Estrada e Rodagem
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP	Índice de Plasticidade
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Liquidez
MPa	Megapascal
PIB	Produto Interno Bruto
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduos da Construção Civil
SA	Solo Argiloso
SV	Solo Vermelho
TR0	Traço 0
TR10	Traço 10
TR20	Traço 20
TR30	Traço 30
UFT	Universidade Federal do Tocantins
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	Problemática	7
1.2	Justificativa	7
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral	8
2.2	Objetivos específicos	8
3	REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1	Histórico do uso do solo na construção	9
3.1.1	Taipa de pilão	10
3.1.2	Adobe	11
3.1.3	Taipa de mão	12
3.2	O solo	13
3.2.1	Tamanho das partículas do solo	13
3.2.2	Ensaio de peneiramento e sedimentação do solo	14
3.2.3	Índices de consistência do solo (Limites de Atterberg)	14
3.2.4	Classificação do solo	16
3.2.5	Compactação dos Solos	20
3.2.6	Solo de Palmas-TO	21
3.3	Estabilização do solo	23
3.3.1	Estabilização Física	23
3.3.2	Estabilização Mecânica	23
3.3.3	Estabilização Química	24
3.4	O solo-cimento	24
3.4.1	Histórico solo-cimento	24
3.4.2	O material solo-cimento	25
3.5	O cimento	25
3.6	Tijolo de solo-cimento	26
3.6.1	Fatores que condicionam a qualidade do solo-cimento	28
3.6.1.1	Tipo de solo	28
3.6.1.2	Umidade de moldagem	28
3.6.1.3	Tipo de prensa	29
3.6.1.4	Teor de estabilizante (cimento)	30

3.6.1.5 Cura.....	30
3.6.2 Processo de fabricação do tijolo solo-cimento	31
3.6.3 Tipos e dimensões dos tijolos solo-cimento	31
3.6.4 Requisitos específicos.....	32
3.6.4.1 Controle e qualidade dos tijolos	32
3.7 Alvenaria de vedação	33
3.8 Resíduos da Construção Civil (RCC).....	33
3.8.1 Composição Gravimétrica dos RCC de Palmas-TO.	34
3.8.2 Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil de Palmas-TO.....	35
3.9 Tijolo ecológico	36
4 METODOLOGIA.....	39
4.1 Materiais	39
4.2 Método.....	41
4.2.1 Caracterização dos solos e do RCC.....	41
4.2.2 Escolha das dosagens	45
4.2.3 Fabricação do Tijolo solo-cimento com substituição do solo por RCC.....	45
4.2.4 Caracterização físico-mecânica do tijolo.....	51
4.2.5 Análise dos resultados	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1 Caracterização física dos materiais utilizados.....	56
5.1.1 Análise granulométrica e classificação.....	56
5.1.2 Massa Específica	58
5.1.3 Limite de Liquidez.....	58
5.1.4 Limite de Plasticidade	60
5.2 Ensaio de absorção de água.....	61
5.3 Ensaio de resistência à compressão simples	63
5.3.1 Comparação da resistência à compressão aos 7 dias	64
5.3.2 Comparação da resistência à compressão aos 28 dias	65
5.4 Análise estatística.....	66
5.4.1 Análise estatística dos resultados da resistência à compressão dos tijolos com e sem substituição do RCC.	66
6 CONCLUSÕES.....	69
REFERÊNCIAS.....	73
APÊNDICE.....	78

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é a atividade relacionada com o planejamento, projeto, execução, manutenção e restauração de obras, podendo ser em diferentes segmentos da infraestrutura e edificações. Assim, é uma área de muita importância para o bem-estar da sociedade, pois, contempla a construção de residências, escolas e hospitais, sendo um setor de extrema relevância para a economia brasileira, na qual mesmo em tempos de crises movimentou 10% do Produto Interno Bruto (PIB) do país e gerou 10 milhões de empregos no ano de 2018, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018).

Contudo, o impacto da construção civil não ocorre somente na economia. Conforme o Relatório realizado pelo Conselho Internacional da Construção (CIB) (2000) a indústria da construção é a que mais consome recursos naturais, gerando consideráveis impactos ambientais. Com isso, é estimado que mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas sejam originários da construção.

Organizações e governos vem ao longo dos anos pactuando ações para diminuir esse impacto. A Lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é uma dessas ações. O artigo 13 vem tratar sobre resíduos sólidos da construção que são regulamentados pela Resolução Conama nº 307 de 2002, onde define os resíduos da construção civil (RCC), estabelece critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos. Por último a ONU HABITAT (2019), elaborou uma nova agenda de compromissos para garantia de novas tecnologias de baixo impacto, consideradas tecnologias limpas.

Diante deste cenário o Tijolo de Solo-cimento ressurge não só como uma solução sustentável para construções, mas também como solução para o aproveitamento de resíduos da construção, inserindo-os em sua formulação. Diversos grupos como a Associação dos Empreendedores em Soluções Sustentáveis (AESS), Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico (Aniteco) e Universidades vem desenvolvendo pesquisas com o Tijolo solo-cimento com adição de resíduos, denominado tijolo ecológico. A normatização deste ainda é um desafio, com isso tem sido feito ensaios que comprovam a resistência e absorção requerida pelas normas brasileiras para garantir seu bom desempenho.

O tijolo solo-cimento tem como composição a utilização de solo, cimento (4% a 10%) e água. Assim, possui inúmeras vantagens como: a utilização do solo como matéria prima, a não utilização de fornos para queima, a não utilização de caixarias, a facilidade de passagem de tubulação. Com isso, várias pesquisas têm sido feitas para adicionar materiais de reciclagem no tijolo solo-cimento. Dessa forma, Palmas-TO se mostrou uma cidade com grande potencial para

a reutilização do RCC, pois é uma cidade que possui muitas obras e tem a primeira usina de reciclagem de RCC do norte do Brasil que recebe diariamente em média 500m³ de resíduos da Construção Civil.

1.1 Problemática

A partir das problemáticas geradas pelos grandes volumes de resíduos da construção civil, e a escassez de recursos naturais tem-se a necessidade de soluções que gerem o desenvolvimento econômico e o crescimento sustentável (MATOS & ALENCAR, 2019). Visto isso, a adição de resíduos da construção civil na fabricação de tijolos de solo-cimento pode se estabelecer como uma solução?

1.2 Justificativa

Grande parte dos resíduos produzidos em áreas urbanas são providos da indústria da construção civil, que resulta em grandes volumes de materiais de construção e de componentes dos canteiros de obras, depositados na maioria das vezes em locais inadequados, como terrenos baldios (KARPINSK *et al.*, 2009). Com isso, tem-se pensado em técnicas que possam minimizar a produção de resíduos ou até mesmo utilizá-los.

Por outro lado, tem-se o tijolo solo-cimento que é um destaque devido seu processo de fabricação ser considerado limpo, pois não necessita da queima de madeira para aquecimentos de fornos, evitando a poluição com gases (WEBER; CAMPOS & BORGA, 2017). Além disso, o tijolo tem destaque pela sua composição, ser formado por cerca de 90% por terra, como também possibilitar a substituição de parte dessa matéria-prima por resíduos. Desse modo, pode-se destacar todas as vantagens do tijolo solo-cimento perante o sistema construtivo tradicional: redução na espessura dos revestimentos, economia de fôrmas, racionalização das instalações elétricas e hidráulicas, e redução no desperdício de materiais (HOFFMANN *et al.* 2012).

Dessa forma, o tijolo solo-cimento possui todas essas vantagens e se apresenta como uma técnica sustentável e bastante promissora, pois além de reduzir a produção de resíduos pode absorver parte dele na produção dos tijolos solo-cimento com substituição de parte do solo por resíduo da construção civil processado pela usina de reciclagem. Assim, com o incremento do RCC no tijolo é possível dá um destino economicamente viável e sustentável para o resíduo,

além de melhorar as características do tijolo, como o aumento da resistência à compressão simples do tijolo e a diminuição da sua absorção de água, como será verificado neste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o desempenho de tijolos de solo-cimento produzidos em prensa motorizada com substituição parcial do solo por resíduos da construção civil (RCC) em diferentes proporções para execução de alvenaria de vedação.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- 1) Caracterizar os materiais a serem empregados na confecção dos tijolos de solo-cimento de referência e os de resíduos da construção civil.
- 2) Definir a dosagem dos tijolos solo-cimento com teores de RCC de 0%, 10%, 20% e 30% substituindo o solo por resíduos da construção civil.
- 3) Realizar a moldagem dos tijolos vazados seguindo as composições estabelecidas.
- 4) Avaliar a resistência à compressão simples e a absorção de água dos tijolos produzidos com substituição do solo por RCC na sua composição.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico é realizado o referencial teórico, na qual proporciona o embasamento teórico para a continuação deste trabalho. Desse modo, aborda os temas voltados para o estudo do tijolo solo-cimento e a adição de RCC, como: o histórico da construção em terra, as propriedades do solo, a estabilização do solo, o material solo-cimento, o cimento, o tijolo solo-cimento, e por fim, os resíduos da construção civil.

3.1 Histórico do uso do solo na construção

A construção em terra crua é utilizada há milênios sob diferentes tipos de técnica em variados lugares do planeta, e tem assim, demonstrado seu potencial e durabilidade, desafiando as intempéries e o tempo persistindo até os dias de hoje. Como exemplo, têm-se construções em Jericó, China, Mesopotâmia, Irã, Iraque e em outras federações do continente africano, na qual a existência remete a cerca de 8000 anos a.C. (CARVALHO & LOPES, 2012).

Assim, conforme afirma Pontes (2012), é no Oriente Médio que surgem as primeiras civilizações arquitetônicas construídas com a utilização do próprio solo local, vindo assim, a posteriori espalhar-se para outras regiões do mundo. O autor acrescenta que as sociedades utilizavam as técnicas do adobe e da taipa, para além das habitações, construir edifícios como fortalezas e obras religiosas.

Inclusive, em Roma, nos primeiros anos da Era Cristã as primeiras cabanas eram confeccionadas em madeira e terra, tendo sido substituídas por adobes antes de serem feitas em pedra, a mando do Império Romano (SANTIAGO, 2001). Conforme corrobora a autora, o uso da terra como material de construção não se restringiu a apenas Europa, Ásia e África, sendo comprovado o seu uso na América.

Desse modo, segundo Santiago (2001) no México era comum os astecas e maias fazerem construção de casas em adobes e com tranças de terra compactada. Como também, na América Andina a arquitetura era predominantemente executada em terras, como construções em adobe revestida ou não de pedra e canais de irrigação confeccionados de taipa de pilão.

Diante disso, é visto que a arquitetura de terra é encontrada em várias partes do mundo, com uso de diferentes técnicas, devido a sua versatilidade. Sendo assim, em cada local adaptada ao seu clima, e aos condicionantes físicos existentes, como também, dos seus materiais encontrados e dispostos para serem empregados (CARVALHO & LOPES, 2012).

O uso do solo como material de construção chegou ao Brasil por meio dos primeiros colonizadores portugueses, e posteriormente, pelos negros que foram trazidos da África. Dessa forma, tem-se registro do uso das taipas em Portugal pelos escritores desde a presença romana. Como também, que algumas tribos africanas apresentavam técnicas que consistia em estruturas preenchidas com barro, além do conhecimento da técnica de adobe (PISANI, 2007).

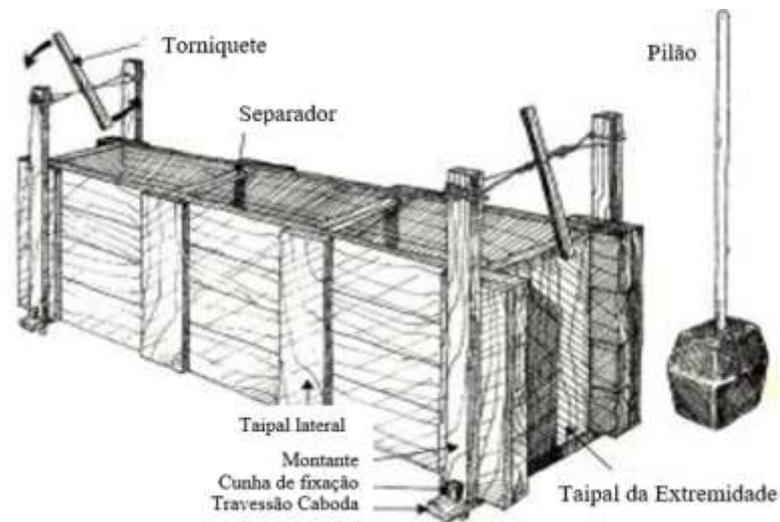
Dessa maneira, as técnicas mais utilizadas no Brasil para construção de terra foram a taipa de pilão, o adobe e a taipa de mão ou pau-a-pique (CARVALHO & LOPES, 2012). Segundo Santiago (2001) a terra teve sua utilização em várias regiões do Brasil até o século XVIII, com maior acontecimento em locais onde não havia muita pedra, encontrando assim inúmeros exemplares de construções históricas centenárias.

Todavia, mesmo com a sua vasta utilização desde os primórdios da colonização, o valor das técnicas de construção de terra foi alterado, atualmente, sendo associadas a pobreza e construções temporárias (CARVALHO & LOPES, 2012). Contudo, apesar do preconceito os autores afirmam que se tem hoje em todo o mundo uma crescente aceitação aos tipos alternativos de edificação.

3.1.1 Taipa de pilão

Segundo Ponte (2012) a taipa de pilão consiste em uma técnica de construção em terra crua, na qual são construídas paredes monolíticas, resistentes e duradouras. Assim, o autor diz que a sua compactação acontece no local de origem da terra que deve ser preliminarmente umidificada, em uma forma como ilustra a Figura 1. Com dimensões da parede que se deseja construir, a terra é despejada dentro em camadas de 10 a 15cm, de forma que com o auxílio de um compactador metálico ou de madeira possa-se aumentar a resistência do material, compactando até um nível de densidade apropriado. Conforme o autor, a elevação das paredes acontece com a sucessão desta prática, e ficam prontas após a retirada da cofragem.

Figura 1 – Taipal e Pilão



Fonte: BARDOU, 1981, p. 19 *apud* (COLIN, 2010).

3.1.2 Adobe

A construção com adobe é uma técnica que pode ser sintetizada a partir da produção dos blocos. Tem-se como etapa de produção o peneiramento da terra em malhas de 5 mm, o corte da palha seca de 5 a 10 cm de comprimento e o desmanche do esterco. Posteriormente, mistura-se a terra, palha e o esterco com a água em um local plano, podendo ser feita por pessoas ou animais (equinos), depois, deixa-se a pasta repousar até que se atinja um material plástico e uniforme com boas condições para se realizar a etapa seguinte. Por conseguinte, executa-se a moldagem dos blocos conforme a Figura 2, com o preenchimento uniforme dos cantos e extremidades. O desmolde é feito de maneira imediata (NEVES & FARIA, 2011).

Figura 2 – Moldagem do bloco de adobe.

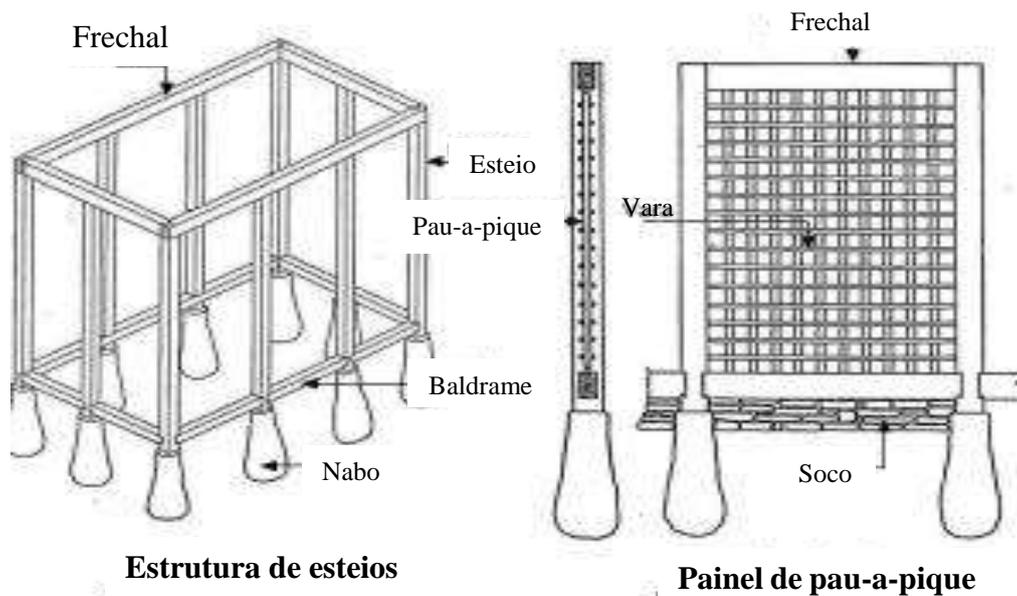


Fonte: COLIN, 2010.

3.1.3 Taipa de mão

A taipa de mão é uma técnica construtiva na qual as paredes são formadas por estrutura de madeira de elevada rigidez, composta por esteios, vigas baldrames, frechais e vergas superiores e inferiores como é ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Elementos de estrutura taipa de mão.



Fonte: COLIN, 2010.

Os esteios têm normalmente seção quadrada, e são enterrados no solo a profundidades oscilante, com uma fundação formada pela continuidade do esteio, conhecida como nabo. Dessa forma, são feitos encaixes nos esteios fincados para receberem as vigas baldrames, e sobre as vigas baldrames os barrotes para sustentação do assoalho, como também, é instalado o frechal na parte superior. Logo, é feita uma espécie de uma gaiola com a amarração dos cipós e as varas, montando-se uma trama. Posteriormente, é preparado o barro, que deve ter alta plasticidade para uma melhor trabalhabilidade, para então prensá-lo contra a trama como demonstra a Figura 4 (PISANI, 2007).

Figura 4- Barro prensado na trama de pau-a-pique.



Fonte: Palancio (2014).

3.2 O solo

O conceito usado para definir solo recebe diferentes significados específicos dependendo da sua finalidade, por exemplo, agricultura, geologia e engenharia civil. Assim a ABNT NBR 6502 (1995, p.17) define solo como “material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não conter matéria orgânica”.

Dessa forma, Pinto (2006) diz que processos como variações de temperatura, congelamento da água, presença da fauna e flora em ações conjuntas levam à formação dos solos, e como consequência são misturas de partículas pequenas, diferenciadas a partir do seu tamanho e composição química.

3.2.1 Tamanho das partículas do solo

Em um mesmo solo geralmente convivem partículas com tamanhos diversificados, com difícil identificação a olho nu. Assim, existe denominações específicas para cada faixa de tamanho das partículas, sendo os seus limites variados de acordo com o sistema de classificação (PINTO, 2006). Dessa forma, dependendo do tamanho que mais predomina em suas partículas, são chamados de pedregulho, areia, silte ou argila. Com isso, os pedregulhos são formações de

rocha que partem do quartzo, feldspato e outros minerais; a areia na sua maior parte de quartzo e feldspato; os siltes, em grãos muito finos de quartzo e fragmentos em forma de placas de outros minerais; a argila, possui principalmente forma laminar, e é formada por partículas microscópicas e submicroscópicas de mica, argilominerais e outros minerais (DAS, 2010).

A faixa de tamanho das partículas pode ser determinada através da análise granulométrica, realizado a partir de dois ensaios, o ensaio de peneiramento para tamanho de partículas maiores 0,075 mm de diâmetro e o ensaio de sedimentação para todas as partículas menores que 0,075 mm de diâmetro (DAS,2010).

3.2.2 Ensaio de peneiramento e sedimentação do solo

Para a realização do ensaio de peneiramento deve-se primeiro preparar a amostra de solo conforme a ABNT NBR 6457 (2016), na qual deve-se secar a amostra ao ar próximo da umidade higroscópica, desmanchar os torrões e homogeneizar a amostra, repartir o solo de acordo com a dimensão dos maiores grãos presentes no solo com a quantidade mínima especificada por Norma.

Assim, conforme afirma Das (2010), o ensaio de peneiramento consiste em colocar uma amostra de solo em um conjunto de peneiras que tenham tamanhos decrescente menores sob a agitação. Dessa forma, o tamanho das peneiras é especificado pela Norma Mercosul NM-ISO 3310-1 (2010) e o Método de ensaio é especificado pela ABNT NBR – 7181 (2016).

Já o ensaio de sedimentação, como diz Das (2010), é levado em conta o princípio de sedimentação dos grãos do solo em água, sendo as velocidades das partículas expressas a partir da lei de Stokes. Desse modo, o ensaio de sedimentação também se encontra na ABNT NBR – 7181 (2016).

3.2.3 Índices de consistência do solo (Limites de Atterberg)

Como menciona Pinto (2006) somente a distribuição granulométrica não determina o comportamento dos solos sob o olhar da Engenharia, visto que as a fração fina exerce grande importância no comportamento do solo, com um comportamento distinto das partículas perante a água. Com isso, buscando facilitar essa natureza, o cientista Atterberg no início do século XX propôs um método para descrever a consistência de solos com grãos finos e teor de umidade variável. Assim, dividiu-se o solo em quatro estados básicos: sólido, semi-sólido, plástico e líquido de acordo com o teor de umidade presente no mesmo (DAS, 2010).

Segundo Das (2010) o teor de umidade (em porcentagem) presente no intervalo do estado sólido para o estado semi-sólido é definido como limite de contração; o teor de umidade presente no intervalo do estado semi-sólido para o plástico é definido como limite de plasticidade; e do estado plástico para o líquido é definido como limite de liquidez, sendo estes os limites de Atterberg.

Dessa forma, para a determinação do limite de liquidez existe um ensaio específico normatizado pela ABNT NBR 6459 (2016). Assim, para a execução do ensaio tem-se a necessidade de um aparelho composto por uma concha de latão e pés de borracha, como ilustra a Figura 5. Para o ensaio como prescreve a Norma, o solo deve ser preparado de acordo com a ABNT NBR 6457 (2016), por conseguinte é colocado uma pasta de solo na concha do aparelho, depois é feito uma abertura com o cinzel (ferramenta com dimensões normatizadas), assim pode-se golpear a concha contra a base em queda livre, anotar o número de golpes que foi necessário para a abertura se unir, e imediatamente recolher uma amostra do material para a determinação da umidade, assim o ensaio deve ser repetido por pelo menos mais três vezes, para que possa obter mais pontos de ensaio. Dessa forma, o limite de liquidez é definido como o teor de umidade do solo com o qual foram necessários 25 golpes para a abertura se fechar (PINTO, 2006).

Figura 5 -Aparelho para determinação do limite de liquidez.



Fonte: <http://www.torresgeotecnia.com.br> (2019).

O limite de plasticidade também tem um ensaio para determinação, especificado pela ABNT NBR 7180 (2016). Assim, a Norma prescreve que o solo deve ser preparado de acordo com a ABNT NBR 6457 (2016). Feito isso, deve-se colocar uma amostra na cápsula e adicionar água destilada com pequenas adições, tomar cerca de 10g da amostra e tentar fazer uma bola, assim, se a amostra se fragmentar antes de atingir 3 mm de diâmetro deve-se retornar o material

para a cápsula e adicionar mais água, desse modo, quando a amostra atingir 3 mm sem se fragmentar e 10 cm de comprimento estará de acordo com o gabarito de comparação; posteriormente, o material deve ser pesado com a massa saturada e colocado numa estufa para a determinação da massa seca e assim, obter o valor da umidade. O ensaio deve ser repetido por pelo menos mais três vezes, para que possa obter mais pontos de ensaio.

3.2.4 Classificação do solo

Com a diversidade de solos e diante as solicitações de interesse da Engenharia teve-se a necessidade de realizar agrupamento dos solos, de maneira que possam ser atribuídas algumas propriedades a esses grupos e subgrupos de acordo com o seu comportamento (PINTO, 2006). Com isso, surge-se os sistemas de classificação dos solos, com base nas distribuições granulométricas e nos índices de plasticidade.

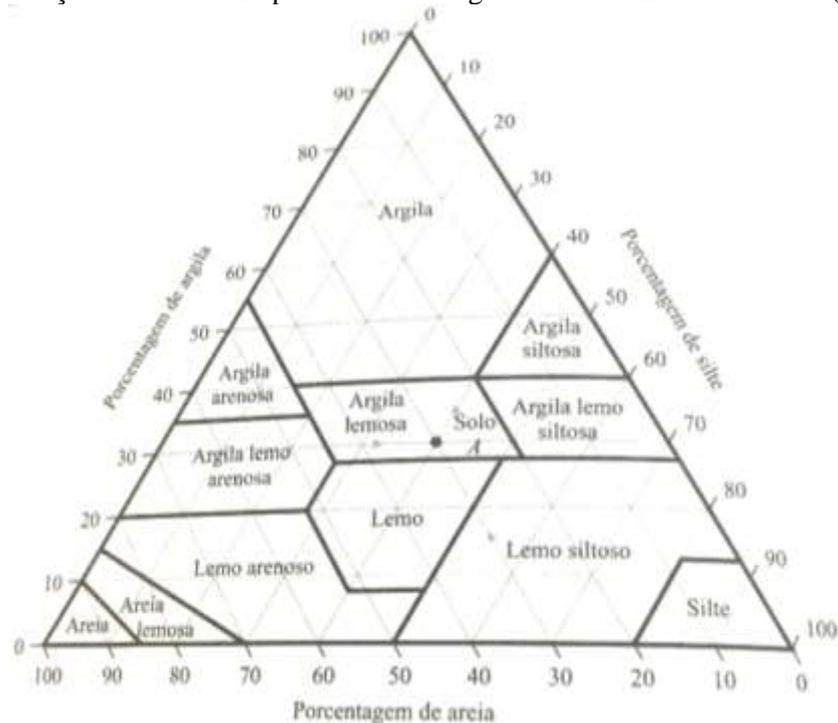
Segundo Das (2010), existem duas categorias principais de sistemas de classificação; a classificação textural que tem como base a distribuição granulométrica da porcentagem de areia, silte e frações de argilas. No outro grupo tem-se como base o comportamento de engenharia dos solos com a consideração da distribuição granulométrica e a plasticidade.

Conforme afirma Das (2010), um sistema de classificação textural bastante utilizado é o sistema de classificação desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Este método tem como base os limites de partícula de acordo com os valores descritos abaixo:

- Tamanho da areia: 2,0 a 0,05 mm de diâmetro
- Tamanho do silte: 0,05 a 0,002 mm de diâmetro
- Tamanho da argila: menor que 0,002 mm de diâmetro.

Portanto, se o solo possuir uma porcentagem de partículas maior que 2 mm deve-se corrigir as porcentagens dos materiais, assim, retira-se a porcentagem das partículas maiores que 2 mm e refaz os cálculos para achar a nova porcentagem de areia, silte e argila, de modo que a soma dessas novas porcentagens seja 100%. Com as porcentagens de cada material calculado utiliza-se o triângulo da USDA, como ilustra a Figura 6. Desse modo, cruza-se as porcentagens de cada material, o ponto de interseção dos três materiais fornece a classificação do solo.

Figura 6- Classificação textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA).



Fonte: Das (2010).

Tem-se hoje dois sistemas de classificação comumente utilizados pelos engenheiros que consideram a distribuição de partícula e os limites de Atterberg. Estes sistemas são o sistema de classificação *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) e o Sistema Unificado de Classificação de Solo (DAS, 2010).

O sistema AASHTO de classificação de solo foi desenvolvido em 1929 nos Estados Unidos e muito empregado na engenharia rodoviária em todo o mundo. Nesse sistema, inicia-se a classificação pela verificação da porcentagem de material passando na peneira de nº200, sendo classificado como solos de granulação grosseira os que têm menos de 35% passando nesta peneira, esses solos são dos grupos A-1, A-2 e A-3. Os solos com mais de 35% que passam pela peneira nº200 formam os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7 (PINTO, 2006). Desse modo o autor Das (2010) desenvolveu uma tabela para realizar a classificação, assim, seguindo os critérios da Tabela 1 tem-se a classificação de acordo com a AASHTO.

Tabela 1 – Classificação dos materiais pela AASHTO.

Classificação geral	Materiais granulares						
	(35% ou menos da amostra total passam pela peneira nº200)						
Classificação do grupo	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Ensaio de peneiramento (porcentagem que passa)							
Nº10	50 máx						
Nº40	30 máx	50 máx	51 mín				
Nº200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx
Características da fração que passa na Nº40							
Limite de liquidez				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
Índice de plasticidade	6 máx		NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Tipos usuais de materiais constituintes significativos	Fragmentos de pedra, pedregulho e areia		Areia Fina	Pedregulho e areia siltosos ou argilosos			
Avaliação geral subgraduada	Excelente a boa						
Classificação geral	Materiais de silte-argila						
	(mais de 35% da amostra total passante pela nº200)						
Classificação do grupo				A-7			
				A-7-5 ^a			
	A-4		A-5		A-6		A-7-6b
Ensaio de peneiramento (porcentagem que passa)							
Nº10							
Nº40							
Nº200	36 mín		36 mín		36 mín		36 mín
Características da fração que passa na Nº40							
Limite de liquidez	40 máx		41 mín		40 máx		41 mín
Índice de plasticidade	10 máx		10 máx		11 mín		11 mín
Tipos usuais de materiais constituintes significativos	solos siltosos			solos argilosos			
Avaliação geral subgraduada	satisfatória a deficiente						

Fonte: Das (2010).

O Sistema unificado de classificação do solo foi proposto por Casagrande em 1942 para a construção de edificações do exército americano durante a Segunda Guerra Mundial, e é amplamente utilizado nos dias de hoje pelos engenheiros. Esse sistema classifica o solo em duas amplas categorias: solos granulares grossos e solos granulares finos. Desse modo, a classificação de um solo é feita através de um símbolo e um nome. Os solos granulares grossos são os que possuem a natureza de pedregulhos e areia com menos de 50% passante na peneira de nº200, com a utilização de símbolos, como G para pedregulho ou solo com pedregulho, e S areia ou solo arenoso. Os solos granulares finos são os que possuem mais de 50% passante na peneira de nº200, assim, os símbolos de grupo iniciam com prefixo M para silte inorgânico, C para argila inorgânica, O para silte e argilas orgânicos e Pt para turfas. (DAS,2010).

Tem-se outros símbolos utilizados para a classificação:

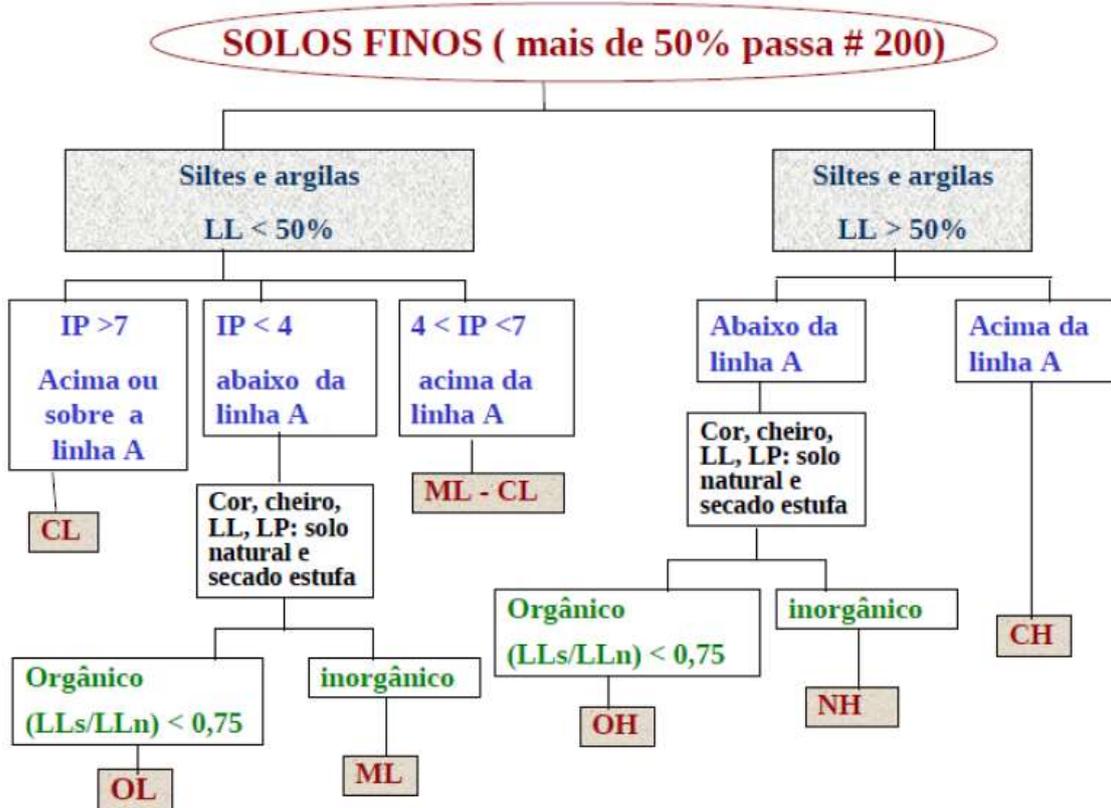
- W- Bem graduado
- P- Fracamente graduado
- L- Baixa plasticidade (limite de liquidez menor que 50)
- H- Alta plasticidade (limite de liquidez maior que 50)

A classificação dos solos pode ser feita através de tabelas como na classificação da AASHTO ou por meio de fluxogramas, como o das Figuras 7 e 8 abaixo.

Figura 7- Classificação solos grossos Sistema Unificado Classificação dos solos (SUCS).



Figura 8- Classificação solos finos Sistema Unificado Classificação dos solos (SUCS).



Fonte: Araújo (2016).

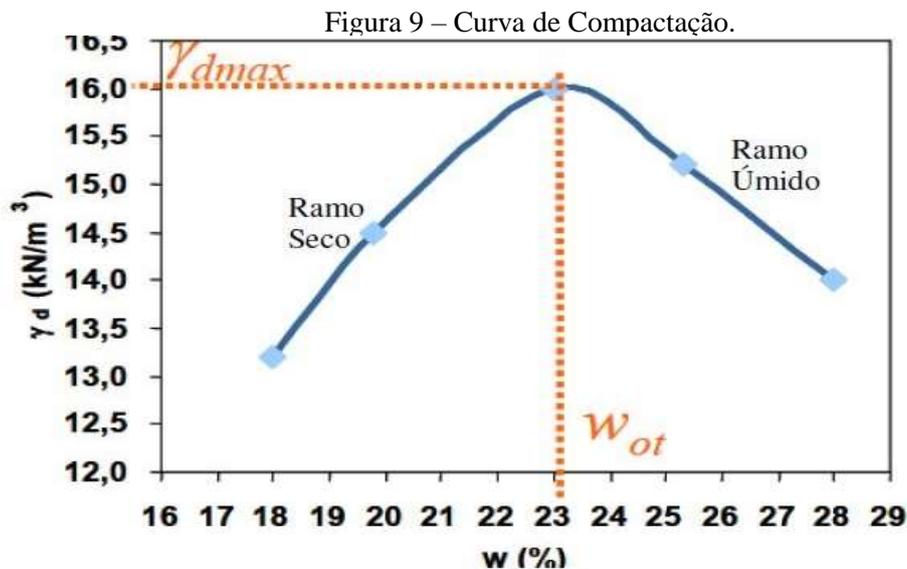
3.2.5 Compactação dos Solos

A compactação dos solos é fundamentada como um processo mecânico na qual por meio da aplicação de cargas repetida e rápida ocasiona a diminuição do volume do solo, e com isso, a uma diminuição do índice de vazios e a um aumento do peso seco. Dessa forma, a redução de volume é devido a expulsão de ar dos vazios do solo (SANTOS, 2008). Assim, segundo Bastos (2015) tem-se com a compactação o objetivo de melhoria e estabilidade das propriedades mecânicas dos solos, como: ganho de resistência, diminuição da compressibilidade e da permeabilidade.

Dessa forma, como diz Pinto (2006), a técnica da compactação é creditada em 1933 ao engenheiro norte-americano Proctor, ao mostrar que, aplicando uma certa energia com a passagem de equipamento em campo ou com o número de golpes de soquete num solo confinado em um molde, a massa específica tem relação com a umidade do solo. Assim, o autor afirma que a partir das publicações de Proctor deu origem ao ensaio de compactação.

No Brasil, o ensaio de compactação é padronizado pela ABNT NBR 7182 (2016), que apresenta três alternativas para energia de compactação: normal, intermediária e modificada.

Desse modo, conforme especifica a Norma o número de golpes e camadas vai variar conforme a energia de compactação. O ensaio é iniciado após o solo ser preparado de acordo com a ABNT NBR 6457 (2016), posteriormente mistura-se o solo em uma bandeja com a adição de água, afim de se obter uma umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima esperada e mantida em processo de cura úmida por 24 horas. Com isso, segundo a Norma deve-se prosseguir com a compactação com os golpes de soquete, e após a compactação da última camada retirar o cilindro complementar e regularizar o material na altura da parede, e logo após remover o molde cilíndrico da sua base e pesar o conjunto para se obter a massa úmida do solo compactado, e repetir o ensaio com o incremento de aproximadamente 2% no teor de umidade, de forma que se obtenha cinco pontos, dois no ramo seco, um próximo a umidade ótima e dois no ramo úmido da curva de compactação, conforme ilustra a Figura 9.

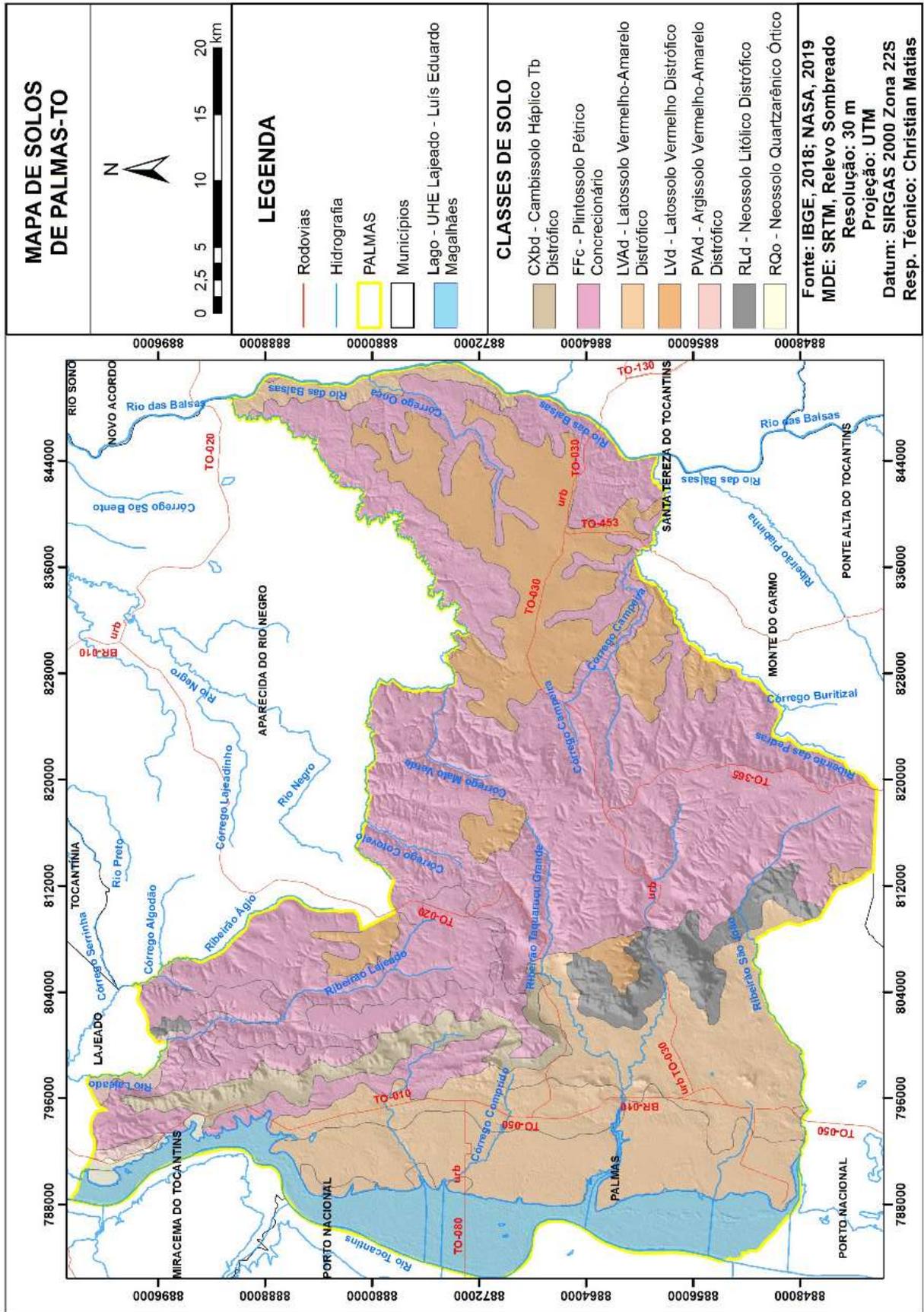


Fonte: Geotecnia e Fundação (2019).

3.2.6 Solo de Palmas-TO

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2018), tem-se no município de Palmas-TO a presença de sete solos: Cambissolo háplico Tb distrófico, Pintossolo pétrico concrecionário, Latossolo vermelho-amarelo distrófico, Latossolo vermelho distrófico, Argissolo vermelho-amarelo distrófico, Neossolo litófico distrófico e Neossolo quartzarênico órtico, como pode ser visto na Figura 10. Destaca-se a presença dos latossolos por estarem na zona urbana da cidade, e assim na região de interesse desse estudo.

Figura 10- Mapa de Solos de Palmas-TO.



Fonte: o autor.

Os latossolos, conforme IBGE (2018) têm em geral como característica serem solos muito intemperizados, profundos com grande homogeneidade de suas características ao longo do seu perfil, diferenciando-se entre si pela sua coloração e por teores de óxidos de ferro. Originam-se de rochas básicas com grande ocorrência no Brasil, e tem sua estrutura do tipo forte pequena granular com aparência de “pó de café”. Assim, neste trabalho foi utilizado o solo Latossolo vermelho-amarelo distrófico, retirado das escavações de uma edificação da região central do município de Palmas-TO. Como também, utilizou-se o solo Argissolo vermelho-amarelo distrófico retirado de uma jazida próxima à cidade.

3.3 Estabilização do solo

A estabilização do solo é compreendida como todos os procedimentos naturais e artificiais que têm o objetivo de melhorar as características, como a durabilidade e a resistência, além de assegurar as melhorias no tempo de vida útil das obras de engenharia (PINTO, 2008). Assim, como afirma Santos (2012) alterações podem ser feitas nas propriedades de um solo por meio de processos físicos, mecânicos e químicos, sendo o tipo de estabilização escolhido de acordo com as propriedades no estado natural e as propriedades que se almeja alcançar.

3.3.1 Estabilização Física

De acordo com Pinto (2008) na estabilização física modifica-se as propriedades do solo alterando sua textura, assim, este método consiste basicamente na adição de materiais, de forma que possa ser utilizado conforme uma especificação desejada, como por exemplo a adição de fibras (vegetais, metálicas e sintéticas) e a correção granulométrica. Além disso, os procedimentos físicos podem envolver a alteração de temperatura, a hidratação (com a adição de cimento Portland, gerando cimentação e endurecimento), evaporação e adsorção (SANTOS, 2012).

3.3.2 Estabilização Mecânica

A estabilização mecânica tem como principal método a compactação, que consiste basicamente em aplicar forças externas ao solo reduzindo o seu volume de vazios, até atingir a massa específica máxima, resistência e estabilidade (CARVALHO, 2011; TONIN, 2016).

3.3.3 Estabilização Química

A estabilização química dos solos é definida como métodos na qual é adicionado qualquer material químico ao solo natural, com o objetivo de melhorar suas propriedades, utilizando assim produtos como pozolanas, betumes, cal e o cimento Portland, além de outros, sendo o mais utilizado o cimento, pois sua ação no solo é semelhante a que ocorre no concreto (SANTOS, 2012).

3.4 O solo-cimento

O solo-cimento, que tem como objetivo gerar um material mais resistente que o solo, é formado a partir da combinação do solo, cimento, água e opcionalmente aditivos que são combinados e levados a compactação. A seguir tem-se os tópicos com o histórico e o material solo-cimento.

3.4.1 Histórico solo-cimento

O material solo-cimento teve seu primeiro uso em 1915 nos Estados Unidos, sendo utilizado na pavimentação de uma rua pelo Engenheiro Bert Reno. Contudo, só em 1935 deram início as pesquisas com o foco neste material pela Portland Cement Association- (PCA). A partir daí o solo-cimento tem seu uso bastante difundido, com maior utilização em pavimentação de estradas e aeroportos (ABOKI, 1981).

No Brasil, a utilização do solo-cimento tem seu início em 1939, com o seu uso na pavimentação na qual através da parceria entre a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) e ao Departamento Nacional de Estrada de Rodagem (DNER) foi construída a estrada Caxambu-Areias. Mas o seu estudo com maior amplitude data-se a iniciar em 1960, com as principais responsáveis pela pesquisa e estudo científicos a ABCP e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (SOUSA *et al.* 2017; ABCP,2004).

O uso do solo-cimento só foi largamente utilizado no Brasil em residências por volta de 1978, quando a técnica teve sua aprovação pelo extinto Banco Nacional de Habitação (BNH), devido as preocupações com o uso de tecnologia na habitação popular. Com isso as instituições IPT, ABCP e Ceped (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) iniciaram estudos voltado ao estudo do material solo-cimento (ABOKI, 1981; FIGUEROLA, 2004).

3.4.2 O material solo-cimento

Segundo a ABCP (2004), o solo-cimento é o produto resultante da mistura homogênea, compactada de solo, cimento e água em dosagens adequadas de acordo com o solo em estudo e as normas que o aplicam, tendo como resultado um material com boa resistência a compressão, bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e de grande durabilidade. Assim, a Associação reitera que quase todos tipos de solos podem ser usados, com exceção para os solos que possuem matéria orgânica em sua composição, dessa forma, o solo é o componente mais utilizado no traço do solo-cimento, e o cimento com o uso que varia de 5% a 10% do peso do solo.

O cimento é o agente estabilizador da estabilização do solo-cimento, por meio de seus componentes cimentícios. Desse modo, melhora as propriedades geotécnicas, como: aumento da compressibilidade, maior resistência, menor permeabilidade e maior durabilidade. Assim, os solos granulares são os mais fáceis de estabilizar devido à sua grande área de superfície em relação ao diâmetro das partículas e os siltosos podem ser sensíveis a mudança na umidade (MAKUSA,2013).

3.5 O cimento

O cimento Portland tem essa denominação devido ao seu inventor, o inglês Joseph Aspdin produzir um material com semelhança de cor e dureza as pedras da ilha de Portland localizada no sul da Inglaterra, sendo patentado em 1824 com esse nome por Aspdin (ABCP, 2002). Desse modo, a ABNT NBR 16697 (2018) define o cimento Portland como um ligante hidráulico conseguido através da moagem de clínquer Portland (produto básico da fabricação do cimento Portland, obtido pela queima a altas temperaturas de materiais calcários e argilosos e constituído em sua maior parte de silicatos de cálcio com propriedades hidráulicas) e pela adição de produtos durante a sua fabricação como sulfato de cálcio e minerais nos teores estabelecidos pela própria Norma. Assim, os cimentos Portland são nomeados por seu tipo de acordo com a adição e propriedades especiais que possuem, sendo identificados por suas siglas, seguidos da sua classe de resistência em 25, 32 e 40 MPa ou em ARI (Alta Resistência Inicial). Quando necessário são acompanhados pelos sufixos RS (resistente a sulfatos) e BC (baixo calor de hidratação), como exemplo CPV-ARI RS (ABNT NBR 16697;2018).

Conforme menciona Oliveira (2011) a adição do cimento ao solo pode ser classificada de acordo com a porcentagem de cimento adicionado que pode ser entendido como a relação

entre a massa de cimento a ser aplicada e a massa de solo seco, multiplicado por 100. Assim ela pode ser feita de duas maneiras: solo melhorado com cimento, cujo é adicionado cerca de 2% a 4% de cimento ao solo, e solo-cimento, com porcentagem de cimento adicionada aproximada de 6% a 10%. O autor complementa que devem ser analisados o real ganho com as adições de cimento, visto que a partir de certos teores de cimento tem-se pouco ganho de resistência, e reitera que o cimento proporciona ao solo propriedades como melhor distribuição granulométrica e enrijecimento.

De acordo com a norma ABNT NBR 10833 (2012) o cimento utilizado para a produção de tijolo solo-cimento deve atender, conforme o tipo empregado, às ABNT NBR 5732 (1991), ABNT NBR 5733 (1991), ABNT NBR 5735 (1991), ABNT NBR 5736 (1991) ou ABNT NBR 11578 (1991).

Dessa forma, ao adicionar o cimento ao solo, os grânulos do solo são envolvidos fisicamente pelas partículas do cimento gerando agregados que no decorrer da hidratação e cristalização do cimento aumentam de tamanho permitindo produzir um material que não tenha grandes variações de volume advindas da absorção e perda de umidade, que não sofre deterioração quando submerso em água e que tenha ganho na resistência a compressão e durabilidade (LOPES; 2002, LIMA; 2010).

Além disso, segundo Milani & Freire (2006) na estabilização do solo com o cimento, paralelo a reação de hidratação citada acima, também, ocorre reações iônicas que promovem a troca de cátions das estruturas argilominerais do solo com os íons de cálcio advindos da hidratação do cimento.

3.6 Tijolo de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento, como define a ABNT NBR 8491 (2012) é um constituinte de alvenaria formado por uma mistura homogênea compactada e endurecida de solo, cimento, água e possivelmente, aditivos em quantidades que viabilizam o cumprimento da norma, conforme a ilustração da Figura 11.

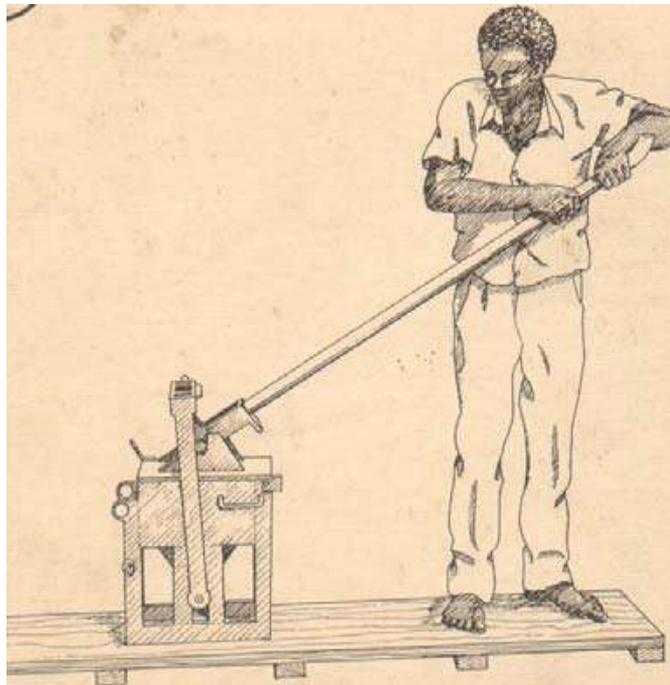
Figura 11 – Tijolo solo-cimento



Fonte: ECOVSM, 2019.

Dessa forma, como afirma Barbosa *et al.* (2002) a partir da década de 1950 começou-se a utilizar a terra de forma comprimida, devido a invenção da prensa manual para confecção de tijolos pelo pesquisador Colombiano G. Ramires, conhecida como “prensa CINVA-Ram”, conforme ilustra a Figura 12. No Brasil as primeiras pesquisas com o material solo-cimento foram realizadas pela Associação Brasileira Cimento Portland (ABCP) por volta de 1978, com a também produção de uma prensa, graças ao apoio do Banco Nacional de Habitação.

Figura 12 – Prensa Manual CINVA- Ram



Fonte: (BARBOSA *et al.*, 2002).

3.6.1 Fatores que condicionam a qualidade do solo-cimento

Vários são os fatores que podem influenciar na qualidade dos tijolos, assim Barbosa *et al.* (2002) lista que os principais fatores, são: tipo de solo, umidade de moldagem, tipo de prensa, teor de estabilizante (cimento) e a cura.

3.6.1.1 Tipo de solo

A ABNT NBR 10833 (2012) especifica alguns requisitos que os solos devem seguir para que se produza um tijolo solo-cimento de qualidade, conforme especificado na Tabela 2, além de não possuir matéria orgânica em quantidades que prejudiquem a hidratação do cimento.

Tabela 2- Critérios para a seleção de solos.

Características	Requisitos (%)
% passando na peneira ABNT 4,8mm (n.º 4)	100
% passando na peneira ABNT 0,075mm (n.º 200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Fonte: ABNT NBR 10833 (2012).

Segundo Campos Jr. (2016) nem todos os solos podem ser utilizados na fabricação de tijolos, devido a sua variada composição e sua granulometria, devendo o solo passar por ensaios para ser identificado os seus parâmetros, como porcentagem de argila, areia e água. Assim, o autor cita que o solo mais recomendado seria aquele composto por cerca de 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila, e que solos com mais de 75% de areia ou mais de 50% de argila devem ser evitados, pois proporcionam pouca coesão e podem exigir maior porcentagem de estabilizantes. O solo característico de Palmas-TO e utilizado nesta pesquisa possui 53% de areia, 3% de silte e 44% de argila.

3.6.1.2 Umidade de moldagem

Na confecção de tijolos prensados, como afirma Barbosa *et al.* (2002), tem-se que obter umidade ideal através de um processo de otimização, visto que a umidade não é a mesma obtido

no ensaio de Proctor, pois no ensaio de Proctor a densidade máxima é obtida através de uma compressão dinâmica, e na prensa a compactação é praticamente estática.

Em campo a identificação da umidade pode ser feito com razoável precisão por um teste tátil e visual que consiste em pegar uma porção da mistura umedecida, e comprimi-la com a mão: ao abrir a mão, o bolo formado deve manter o sinal dos dedos, como demonstra a Figura 13 e, quando deixado cair da altura de 1 metro, deve desagregar-se. Caso não seja possível formar o bolo com a mão, a umidade é insuficiente; e se o bolo ao cair se manter coeso, tem-se umidade excessiva (NEVES *et al.*, 2010).

Figura 13- Umidade de moldagem (teste tátil e visual).



Fonte: o autor.

3.6.1.3 Tipo de prensa

Assim, o autor Grande (2003) diz que a partir dos primeiros estudos muitos fabricantes criaram vários modelos de prensas manuais e hidráulicas para a confecção de tijolos, e ressalta a importância de uma boa compactação imposta pela prensa, visto que, a energia de compactação é uma das variáveis mais importantes para a geração de um produto de qualidade. Desta forma, a Tabela 3 traz alguns dados de produtividade das prensas.

Tabela 3 - Produtividade das prensas para componentes de solo estabilizado.

Tipo de Prensa		Energia de Compactação (MPa)	Taxa de Compactação do solo	Produção (tijolos/dia)
Manual	Mecânica	1,5-2,0	1,38	300 a 1.200
	Hidráulica	2,0-10,0	1,65	2.000 a 2.800
Motorizada	Mecânica	4,0-24,0	>1,65	1.600 a 12.000
	Hidráulica	>20,0	>2,00	-

Fonte: Ferraz Júnior (1995).

Nesta pesquisa foi utilizada a prensa motorizada de comando hidráulico elétrico, da fabricante Alroma, com capacidade de compressão de 12 toneladas e produção de até 3.000 tijolos por dia.

3.6.1.4 Teor de estabilizante (cimento)

Seguindo o conceito de estabilização visto em tópicos anteriores, tem-se o cimento como um dos mais eficientes estabilizantes. Assim, o teor de cimento a ser utilizado depende do tipo de solo que será utilizado na composição solo-cimento e da resistência que se deseja alcançar, sendo que será necessária maior utilização de cimento para solos com maiores percentuais de argila e silte. Como também, terá maior utilização de cimento quanto maior for a resistência requerida, contudo altos teores de cimento podem gerar inconveniências técnicas e econômicas. (BARBOSA *et al.*, 2002; MARQUES, 2010)

3.6.1.5 Cura

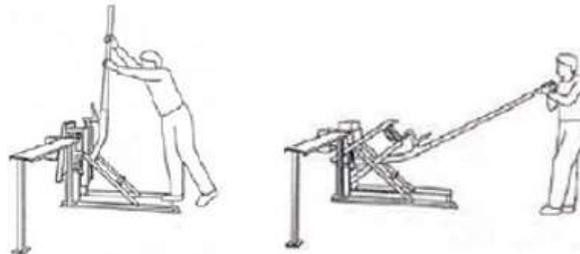
Assim como o concreto convencional, para o cimento reagir bem na mistura necessita ser hidratado pela água. Para isso, é imprescindível que os tijolos sejam mantidos em ambientes úmidos e com a evaporação da água impedida. Dessa forma, tem-se dois tipos de curas: a seca e a úmida. A cura seca deve ser iniciada após 6 horas dos tijolos moldados e durante 7 dias realizando molhagem sucessivas, assim devem ser empilhados de acordo com a sua data de produção e marcados com sua data de fabricação. Já na cura úmida os tijolos recém desenformados são colocados próximos a prensa e cobertos com plásticos e desenrolados conforme o avanço da pilha, assegurando para que não tenha infiltração de ar. (CAMPOS JR.;2016)

3.6.2 Processo de fabricação do tijolo solo-cimento

Segundo Grande (2013) o processo de fabricação do tijolo solo-cimento pode ser dividido nas seguintes etapas: preparação do solo, preparo da mistura, moldagem dos tijolos e cura/armazenamento.

Assim, a primeira etapa inicia-se com a extração do solo, na qual deve-se retirar a capa superior que está composta com matéria orgânica e extrair o solo, o próximo passo é a secagem, na qual deve-se retirar o máximo de umidade para facilitar o peneiramento, desse modo pode espalhar a terra coletada em uma capa com uma altura máxima de 30 cm e deixar exposta ao sol, feito isso, é realizado o peneiramento para selecionar o tamanho específico dos grãos. A segunda etapa, do preparo da mistura, inicia-se com a dosagem de cimento e terra que irão ser misturados, assim a mistura deve apresentar cor uniforme e não possuir bolas de cimento, depois é espalhada a mistura para adicionar água de maneira uniforme. A terceira etapa, inicia-se com a regulagem da prensa, e posteriormente é colocado a mistura solo-cimento no dosificador da prensa e efetuado a compressão, conforme a Figura 14. Por fim, os blocos são retirados da prensa, e iniciados a última etapa, que compreenda a cura, podendo ser realizado a cura seca ou a úmida, com o devido armazenamento dos tijolos. (CAMPOS JR., 2016)

Figura 14- Prensagem da mistura solo-cimento.



Fonte: Campos JR. , (2016).

3.6.3 Tipos e dimensões dos tijolos solo-cimento

A ABNT NBR 8491 (2012) traz em suas especificações as dimensões nominais que os tijolos devem possuir conforme a Tabela 4, mas ressalta que os tijolos podem apresentar dimensões diferentes das estabelecidas, desde que sua largura seja maior que a sua altura. Dessa forma, o tijolo confeccionado para o estudo foi fabricado com 250mm de comprimento, 125mm de largura e 70mm de altura.

Tabela 4 - Tipos e dimensões manuais (mm).

Tipos	Comprimento	Largura	Altura
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: A ABNT NBR 8491/2012.

Assim, segundo Pisani (2003), no Brasil são produzidos tijolos de solo-cimento de diversos modelos e tamanhos, selecionados a partir do projeto, mão de obra, materiais e equipamentos disponíveis nos locais. Nesta pesquisa foi utilizado tijolos de 250 mm de comprimento, 125 mm de largura e 70 mm de altura.

3.6.4 Requisitos específicos

A ABNT NBR 8491 (2012) traz os requisitos físicos e mecânicos que os tijolos de solo-cimento para alvenaria de vedação devem cumprir para terem sua aceitação, conforme resumido na Tabela 5.

Tabela 5 - Limites especificados para controle de qualidade de tijolos de solo-cimento.

Características	N.º de amostra	Exigências NBR 8491 (2012)	
Variação dimensional	-	± 3 mm	
Resistência à compressão	10	Valor Médio	$\geq 2,0$ MPa
		Valor Individual	$\geq 1,7$ MPa
Absorção de água	3	Valor Médio	$\leq 20\%$
		Valor Individual	$\leq 22\%$

Fonte: ABNT NBR 8491 (2012).

3.6.4.1 Controle e qualidade dos tijolos

A ABNT NBR 8492 (2012) traz as recomendações e os métodos para os ensaios de: análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água dos tijolos. Desse modo, a norma diz que devem ser escolhidos 10 tijolos por lote e identificados, assim, retira-se 7 tijolos para o ensaio de compressão simples e 3 para o ensaio de absorção de água.

O ensaio de análise dimensional deve ser realizado com 3 medidas em diferentes pontos de cada lado do tijolo, sendo uma em cada extremo do tijolo e uma no meio, com exatidão de

0,5mm. O ensaio à compressão simples deve ser realizado com os seguintes passos: cortar o tijolo ao meio, sobrepor as duas partes e ligá-las com uma camada fina de cimento, regularizar as faces (retifica adequada ou preenchimento com pasta de cimento), após o endurecimento colocar os corpos de prova imersos em água por 6 horas, retirar os corpos de prova momentos antes do ensaio e enxugá-los superficialmente, colocá-los na máquina de ensaio à compressão, aplicar carga uniforme gradativa até ocorrer a ruptura do corpo de prova. O ensaio de absorção de água deve ser realizado com os três corpos de prova restante, assim deve-se secá-los em estufa (entre 105°C a 110°C) até a massa ficar constante, anotar a massa em gramas (g), ao atingir a temperatura ambiente, colocar o corpo de prova no tanque por 24 horas, após a retirada do corpo de prova enxugá-lo superficialmente e pesar, assim tem-se a massa em gramas (g) do corpo de prova saturado. (ABNT NBR 8492/2012)

3.7 Alvenaria de vedação

A alvenaria de vedação é o tipo de alvenaria que não é dimensionada para suportar cargas verticais, tendo que suportar somente o seu peso próprio. É o método construtivo mais utilizado para vedar e separar ambientes no Brasil, sendo composto por tijolos ou blocos sobrepostos com o uso de argamassa. Tem-se sua divisão em interna e externa, a alvenaria interna tem a função apenas de dividir os ambientes internos, e a externa deve apresentar resistência à umidade, movimentos térmicos, pressão do vento e a infiltração de águas pluviais (PEREIRA, 2018).

3.8 Resíduos da Construção Civil (RCC)

A definição de resíduos da construção civil no Brasil, é realizada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, na qual através da sua Resolução de número 307, publicada em 5 de julho de 2002, define os RCC da seguinte maneira:

Art. 2º Inciso I: Resíduos Sólidos 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. (BRASIL, 2002, p.1)

Dessa forma, outra definição apontada pela Resolução nº 307/2002 é a de agregado reciclado:

Inciso IV – Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia; (BRASIL, 2002, p. 2)

Outro ponto bastante importante apontado pela Resolução nº 307/2002 em seu Art. 3º é a classificação dos RCC, em quatro classes. Assim, os resíduos da Classe A são os reutilizáveis ou recicláveis como agregados, podendo ser de origem de construção, demolição, reformas, tijolos, blocos, telhas, argamassa, concreto e peças pré-moldadas. A Classe B são os resíduos que podem ser reciclados para outros afins, como: plástico, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens de tintas e gesso. A Classe C é formada pelos resíduos que ainda não possuem tecnologia ou aplicações que tornam a sua reciclagem viável. E por fim, os resíduos da Classe D são classificados como resíduos perigosos, como: tinta, solventes, restos de clínicas radiológicas, materiais que contenham amianto e outros produtos nocivos à saúde. (BRASIL, 2002, p.3)

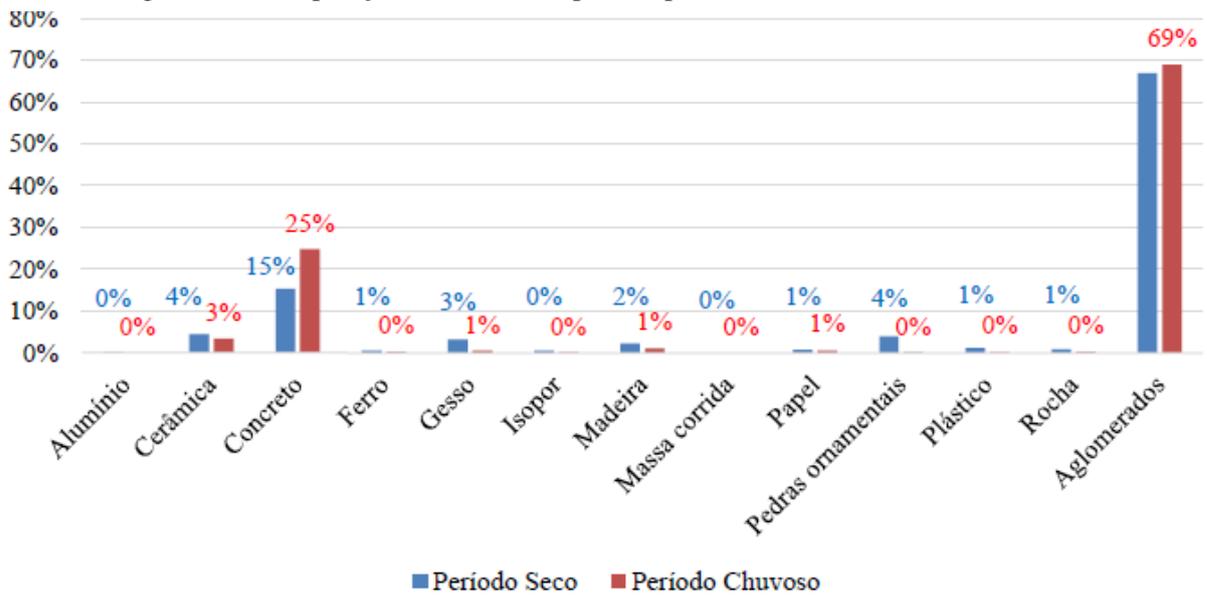
Desse modo, a Resolução nº 307/2002 em seu Art.10º traz a destinação de cada classe de resíduo após a sua triagem. Assim, os resíduos de Classe A deverão ser reutilizados na forma de agregados ou enviado para aterros de RCC classe para uso futuro. Os resíduos de Classe B deverão ser reutilizados de acordo com as especificações de suas próprias normas. Como também, os resíduos de Classe C e D deverão ter a sua destinação de acordo com as suas normas técnicas específicas. (BRASIL, 2002, p.6)

3.8.1 Composição Gravimétrica dos RCC de Palmas-TO.

Conforme explicita a ABNT NBR 10.007/2004, a caracterização gravimétrica é definida como “determinação dos constituintes e de suas respectivas percentagens em peso e volume, em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser físico, químico ou biológico”.

Assim, a partir da definição dada acima e a importância em saber o que compõe o RCC, SILVA (2015) fez um trabalho em Palmas-TO, intitulado como “Caracterização de resíduos de Construção Civil na cidade de Palmas-TO”. Assim, o autor trouxe como resultado em forma de gráfico, a composição gravimétrica dos RCC de Palmas-TO, como demonstra a Figura 15.

Figura 15 - Composição Gravimétrica para os períodos seco e chuvoso, Palmas-TO.



Fonte: SILVA, Juarez Pereira Da (2015).

Dessa forma, o autor Silva (2015) conclui que os aglomerados foram os materiais mais presentes dentre os RCC analisados, com média 68,93%, indicando seu forte potencial para reutilização em processos de fabricação de materiais de construção e produtos, diminuindo assim o uso de matérias primas vindas diretamente do meio ambiente.

3.8.2 Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil de Palmas-TO

A cidade de Palmas-TO possui a primeira e única usina de reciclagem de materiais da construção civil da região norte do Brasil, inaugurada em dezembro de 2017. A criação da usina começou com a união das construtoras que compreenderam que havia muito resíduo gerado pelas obras realizadas no município e que não havia um destino ambientalmente correto. Assim, em conjunto com a prefeitura fizeram uma associação que permitiu a criação da Usina de Reciclagem de RCC, conforme a Figura 16. (CEULP/ULBRA-TO, 2018)

Atualmente, segundo dados da empresa são recebidos diariamente cerca de 100 containers de tira entulho por dia, totalizando uma média diária de 500m³ de resíduos.

Figura 16- Usina de Reciclagem de Entulhos – RCC de Palmas-TO



Fonte: o autor.

3.9 Tijolo ecológico

Assim, o tijolo ecológico além dos materiais solo, cimento e água citados pela norma ABNT NBR 8491 (2012) é produzido com aproveitamento de resíduos, como da construção, demolição e da agroindústria, mantendo o seu desempenho e durabilidade (PEREIRA, 2019). Dessa forma, tem-se no Brasil pesquisas com incremento de produtos como: cédulas de dinheiro sem valor, fibras e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, resíduo cerâmico moído, resíduos de construção e demolição, cinza de casca de arroz, entre outros.

Desse modo, o artigo intitulado “Tijolo ecológico confeccionado com cédulas de dinheiro sem valor” desenvolvido pela pesquisadora Valadão (2017) apresentou o desenvolvimento da confecção de tijolo solo-cimento com a utilização de cédulas sem valor monetário (Figura 17) fornecidas pelo Banco Central do Brasil. Adotou-se na pesquisa substituição de até 25% do solo pelas cédulas, e todos os resultados obtiveram uma resistência acima de 1,7MPa, conforme recomendação da norma ABNT NBR 8491 (2012). Assim, a pesquisadora comprovou que a adição de cédulas picadas contribui para o aumento da

resistência do tijolo, sendo um possível destino para as cédulas sem valores o seu incremento no tijolo.

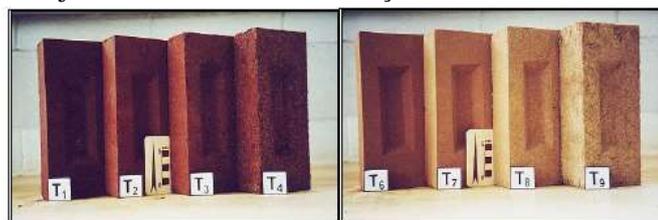
Figura 17- Tijolo solo-cimento fabricado com cédulas de dinheiro.



Fonte: Valadão (2017).

Outro trabalho com a utilização de resíduos no tijolo solo-cimento foi a dissertação desenvolvida por Valenciano (1999). Neste trabalho o autor pesquisou a utilização de dois resíduos sólidos da indústria sucro-alcooleira, as fibras e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar. As fibras e cinzas passaram por um processo de tratamento prévio de peneiramento e moagem, antes de serem acrescentadas as misturas de solo-cimento, para a obtenção da resistência a compressão simples de 7 e 28 dias. O autor teve como resultado para tijolos de solo-cimento e fibra baixos valores de resistência e alto valores de absorção, já para os tijolos solo-cimento e cinza manteve-se os valores de resistência e absorção para a incorporação de até 20% de cinzas na mistura. Assim, tem-se a Figura 18 com os tijolos de fibras e cinzas de cana-de-açúcar.

Figura 18- Tijolos solo-cimento com adição de fibras e cinzas de cana-de-açúcar.



Fonte: Valenciano (1999).

Além de pesquisas que visam a substituição de parte do solo por resíduos tem-se também trabalhos que visam a substituição de parte do cimento por resíduo, como o artigo de Lima

Júnior (2002) .Foram testados na pesquisa três traços de substituição de 0%,25% e 50%. O autor observou que a substituição parcial do cimento na fabricação de tijolos de solo-cimento é viável para o traço de 25%.

A dissertação de Souza (2006) avaliou a utilização de resíduo de concreto na fabricação do tijolo solo-cimento. O autor utilizou três dosagens, 20%, 40% e 60% de substituição do solo pelo resíduo. O pesquisador concluiu que a adição dos resíduos de concreto possibilitou condições técnicas favoráveis para produzir tijolos de solo-cimento com qualidade e com suas propriedades técnicas melhoradas, sendo que todos tijolos atenderam os requisitos da norma ABNT NBR 8491 (2012).

Figura 19- Tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de concreto.



Fonte: Souza (2006).

Outra pesquisa de interesse foi o artigo dos autores Milani e Freire (2008). Para tal estudo os autores confeccionaram corpos-de-prova de solo-cimento-cinza de arroz, na qual foram submetidos aos ensaios de compressão simples, de absorção de água, de ultrassom, de durabilidade; de condutividade térmica e de calor específico. Os resultados obtidos indicaram que o solo arenoso, quando substituído pelo teor de 7,5% de cinza e estabilizados com 10% e 13% de cimento se apresenta como promissor material alternativo a ser utilizado em construções rurais ou urbanas.

4 METODOLOGIA

Neste tópico são especificados os materiais e métodos deste trabalho. Desse modo, o capítulo aborda os seguintes assuntos: os materiais (solo, RCC, água e cimento), os procedimentos de caracterização do solo e do RCC, a dosagem utilizada e a caracterização físico-mecânica.

4.1 Materiais

O solo a ser utilizado foi retirado de escavações para a construção de um empreendimento por uma construtora, conforme ilustra a Figura 20, localizado na região central da cidade de Palmas-TO.

Figura 20- Solo a ser utilizado para a confecção dos tijolos ecológicos.



Fonte: o autor.

O Resíduo da Construção Civil utilizado foi o coletado da Ambiental usina de reciclagem de resíduos de construção civil de Palmas-TO. Assim, utilizou-se o RCC proveniente do processamento, como demonstra as Figuras 21(A e B).

Figura 21 – RCC . A - Sem processamento. B - Em processamento.



Fonte: o autor.

O cimento utilizado para a fabricação dos tijolos foi o CPV ARI da Ciplan, conforme a ABNT NBR 11578 (1991), ilustrado pela Figura 22.

Figura 22- Cimento utilizado na fabricação dos tijolos.



Fonte: o autor.

A água utilizada foi a fornecida pela rede pública de abastecimento do município de Palmas-TO.

4.2 Método

A metodologia adotada para esta pesquisa foi de cunho experimental, e consistiu na execução de cinco passos principais, conforme o fluxograma abaixo, ilustrado pela Figura 23.

Figura 23- Fluxograma da metodologia.



Fonte: o autor.

Assim, serão descritas a seguir as cinco etapas para a produção e análise do tijolo solo-cimento com adição de resíduos.

4.2.1 Caracterização dos solos e do RCC

Separou-se cinco quilogramas de cada solo (Solo Vermelho e Solo Argiloso) e cinco quilogramas de resíduo da construção civil para os ensaios de caracterização (Figura 31), na qual foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFT. Para a realização dos ensaios de caracterização, o resíduo foi tratado como um solo, com a execução dos mesmos ensaios realizados nos solos.

Figura 24- Solos e RCC separados para caracterização.



Fonte: o autor.

Assim, os solos e o RCC passado na peneira nº 4 (4,75mm) foram mantidos ao ar livre e preparado de acordo com a ABNT NBR 6457 (2016). Desse modo, o solo foi seco ao ar livre, para que sua umidade se aproximasse a umidade higroscópica, após isso, foram desmanchados os torrões, com cuidado, para evitar a quebra dos grãos do solo, e manter a amostra homogeneizada. Por conseguinte, com a utilização do quarteador de solo, realizou-se a separação das quantidades de solo necessária a cada ensaio.

Assim, foram realizados os seguintes ensaios:

- Determinação da massa específica, de acordo com ABNT NBR 6508 (1984).
- Análise Granulométrica, de acordo com ABNT NBR 7181 (1984), teve com resultado a curva de distribuição granulométrica dos solos e do RCC, e as suas classificações quanto a sua classe textural.
- Determinação do limite de liquidez, ABNT NBR 6459 (1984).
- Determinação do limite de plasticidade, ABNT NBR 7180 (1984).

Para a caracterização dos solos e do RCC, utilizou-se os seguintes equipamentos:

- Aparelho de Casagrande para determinação dos limites de Atterberg (Figura 26);
- Estufa com temperatura regulável (Figura 25) utilizada para a determinação da umidade;

- Balança analítica (Figura 28), com resolução de 0,001g, utilizada nos ensaios de granulometria e limites de Atterberg;
- Peneiras de 4,8; 2,0; 0,84; 0,42; 0,25; 0,15; e 0,075mm de abertura das malhas (Figura 27), utilizado para peneiramento do solo.
- Picnômetro (Figura 31) utilizado no ensaio da massa específica;
- Proveta (Figura 30) utilizada no ensaio de sedimentação;
- Becker (Figura 29) utilizado para ensaio de massa específica.

Figura 26- Aparelho de Casagrande.



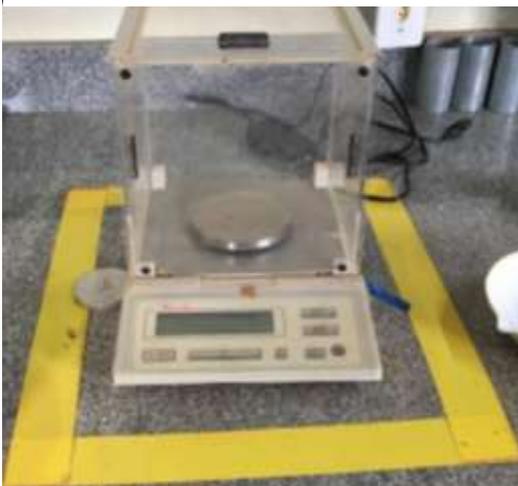
Fonte: o autor.

Figura 25 – Estufa.



Fonte: o autor.

Figura 28- Balança Analítica.



Fonte: o autor

Figura 27- Peneiras.



Fonte: o autor

Figura 31- Picnômetro.



Fonte: o autor

Figura 30- Proveta.



Fonte: o autor

Figura 29- Beckers



Fonte: o autor

4.2.2 Escolha das dosagens

Os traços da mistura de cimento, solo e RCC foram definidos com embasamentos em estudos realizados anteriormente a este trabalho. Desse modo, a literatura recomenda utilizar teores de 4% a 10% de cimento para a estabilização do tijolo solo-cimento para alcançar bons resultados de resistência na fabricação de tijolos. Com isso, assim como feito pelo pesquisador Pinto (2015) optou-se por trabalhar com o traço 1:10, tendo como resultado o teor de 9,1% de cimento. Segundo o autor traços como 1:10 se tornam mais fáceis de serem assimilados pela mão de obra não qualificada, que é um dos alvos da produção destes tijolos.

Desse modo, o estudo buscou minimizar a quantidade de solo natural utilizado na mistura com a substituição de partes de solo pelo RCC, para isso, manteve-se fixo para todos os traços o mesmo teor de cimento. Assim, com a intenção de estudar o comportamento da substituição do solo por RCC na composição da mistura, foram adotados vários traços variando a composição de solo e RCC, conforme a Tabela 6, partindo do traço de referência (traço TR0) com 0% de substituição de solo pelo RCC, o traço TR10 com 10% de substituição, o traço TR20 com 20% de substituição até o traço TR30 com 30% de substituição do solo pelo RCC. Escolheu-se esses valores de substituição baseado na tese de Lima (2013), que adotou valores semelhantes para o seu estudo. Como também, por ser um estudo pioneiro na região de Palmas-TO.

Tabela 6 – Traços e Porcentagens de Materiais na mistura em volume.

TRAÇO	SOLO	RCC
TR0	100%	-
TR10	90%	10%
TR20	80%	20%
TR30	70%	30%

Fonte: o autor.

4.2.3 Fabricação do Tijolo solo-cimento com substituição do solo por RCC

Neste subtópico foram realizados os procedimentos que resultaram na fabricação do tijolo solo-cimento com substituição do solo por resíduos da construção civil na sua composição. Assim, a moldagem dos tijolos ocorreu em uma fábrica na cidade de Palmas-TO.

Realizada a coleta do solo no centro de Palmas-TO e do RCC na Usina de Reciclagem, realizou-se os primeiros testes para moldagem dos tijolos. Assim, ao tentar fabricar as primeiras unidades teve-se muita dificuldade em retirar o tijolo da prensa, como demonstra a Figura 32.

Figura 32- Quebra do tijolo ao retirá-lo da prensa.



Fonte: o autor.

Com isso, conforme sugestão dos técnicos da fábrica adicionou-se ao solo outro solo com característica argilosa, como ilustra a Figura 33, já encontrado na fábrica e retirado de uma jazida próxima ao município. Para uma melhor identificação o solo adicionado na mistura foi denominado de solo argiloso (SA), e o solo retirado do centro de Palmas-TO denominado como solo vermelho (SV). Assim, o SA foi adicionado na proporção de 10% em relação ao volume do solo para todos os traços.

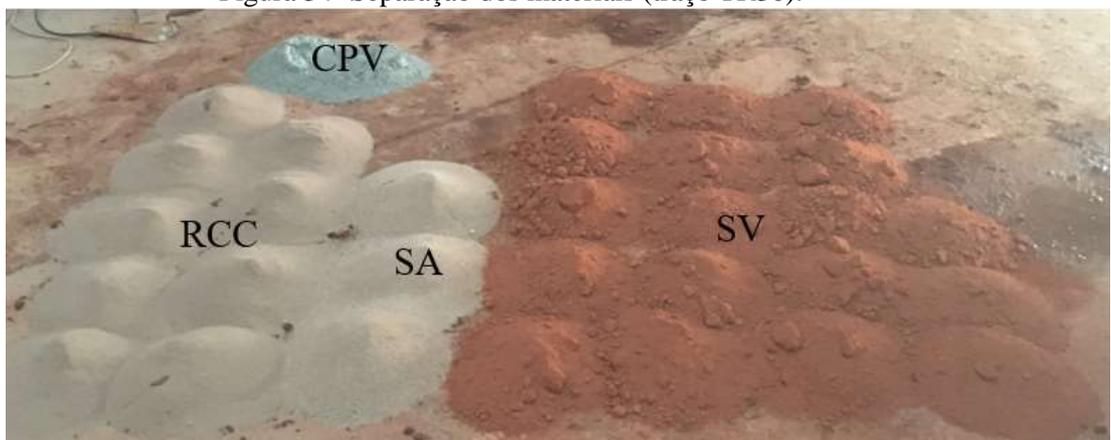
Figura 33 - Solo argiloso (SA).



Fonte: o autor.

Realizado a alteração na composição do solo seguiu-se com os procedimentos para a fabricação dos tijolos. Assim, devido ao RCC mesmo após o processamento apresentar pedaços de resíduos grandes optou-se por passá-lo em uma peneira com abertura de 4,8 milímetros. Por conseguinte, separou-se os materiais de acordo com os traços especificados na Tabela 6, com um recipiente de capacidade volumétrica de um litro. Como exemplo, tem-se a dosagem do traço TR30 na Figura 34.

Figura 34- Separação dos materiais (traço TR30).



Fonte: o autor.

Posteriormente, foram homogeneizados os materiais de forma manual, com o uso de uma enxada, como ilustra a Figura 35. Depois, adicionou-se água em poucas quantidades até

que a mistura atingisse a consistência de moldagem, ilustrado pela Figura 36, sendo a quantidade de água utilizada verificada em cada moldagem pelo teste visual e manual.

Figura 35- Homogeneização do material de forma manual.



Fonte: o autor.

Figura 36 - Consistência de moldagem (teste tátil e visual).

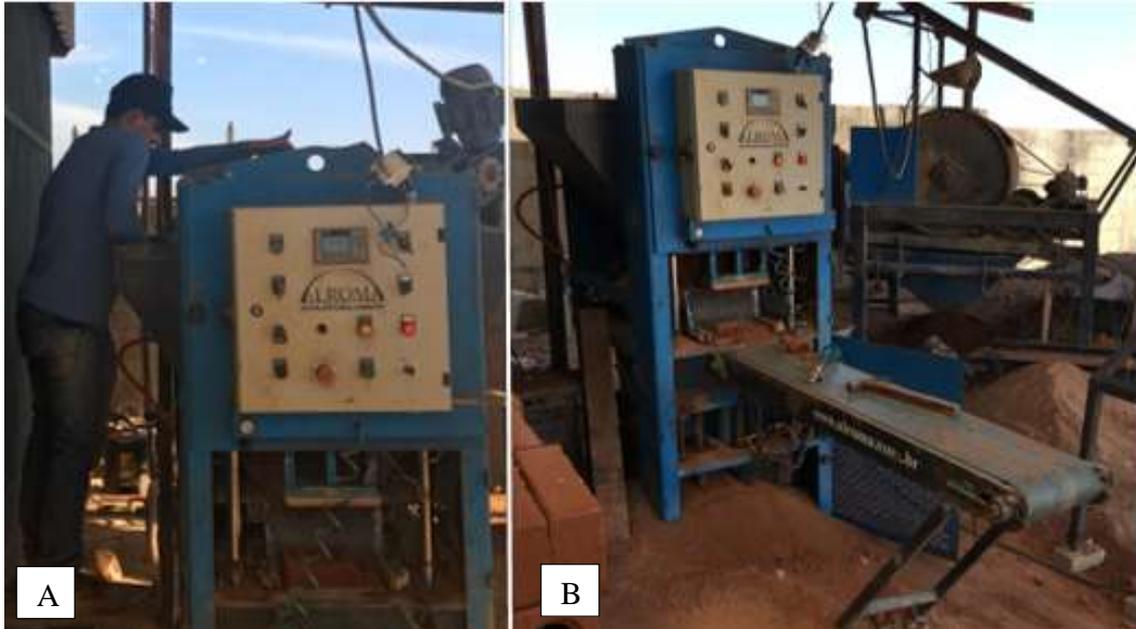


Foto: o autor.

Assim, após a homogeneização dos materiais a mistura foi colocada no dosador da prensa para realização da prensagem (Figura 37). Desse modo, foi utilizado a prensa hidráulica, fornecida pela empresa Ecolar tijolos ecológicos, cujo é fabricada pela Alroma, modelo prensa automática. A prensa possui capacidade de compressão de 12 toneladas e capacidade para produzir 3.000 tijolos por dia, de acordo com os fabricantes. Com isso, os tijolos fabricados

possuem a seguinte dimensão: 12,5 cm x 25 cm x 7,0 cm (largura x comprimento x espessura) e encaixes nos furos internos de 6 cm.

Figura 37- Prensagem dos tijolos. A-Colocação da mistura no dosador da máquina.
B – Máquina utilizada para a produção dos tijolos.



Fonte: o autor.

Após a fabricação os tijolos foram assoprados com um ar comprimido de 80 libras (Figura 38.A) para retirada do excesso de material. Posteriormente, foi conferido a espessura destes com a utilização de um paquímetro (Figura 38.B), para saber se houve uma boa compressão.

Figura 38- Finalização dos tijolos. A-Limpeza dos tijolos com ar comprimido.
B- Medição da espessura dos tijolos.



Fonte: o autor.

Logo após, os tijolos foram retirados com cuidado e colocados em local para a realização da cura úmida por 6 dias, com a utilização de lona para cobri-los, até serem levados para o Laboratório de Construção Civil da Universidade Federal do Tocantins (UFT) para realização dos ensaios. Optou-se pela cura úmida devido ao fato de ser a cura praticada pela fábrica e indicada pelo fabricante da máquina.

Foram fabricados para cada traço 11 tijolos, na qual foram destinados 4 para o ensaio de compressão aos 7 dias, 3 para o ensaio de absorção de 7 dias e 4 para o ensaio de compressão de 28 dias, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade de tijolos a serem moldados e ensaiados.

TRAÇO	Compressão	Compressão	Absorção	Total
	(7 dias)	(28 dias)	(7 dias)	
TR0	4	4	3	11
TR10	4	4	3	11
TR20	4	4	3	11
TR30	4	4	3	11
Total	16	16	12	44

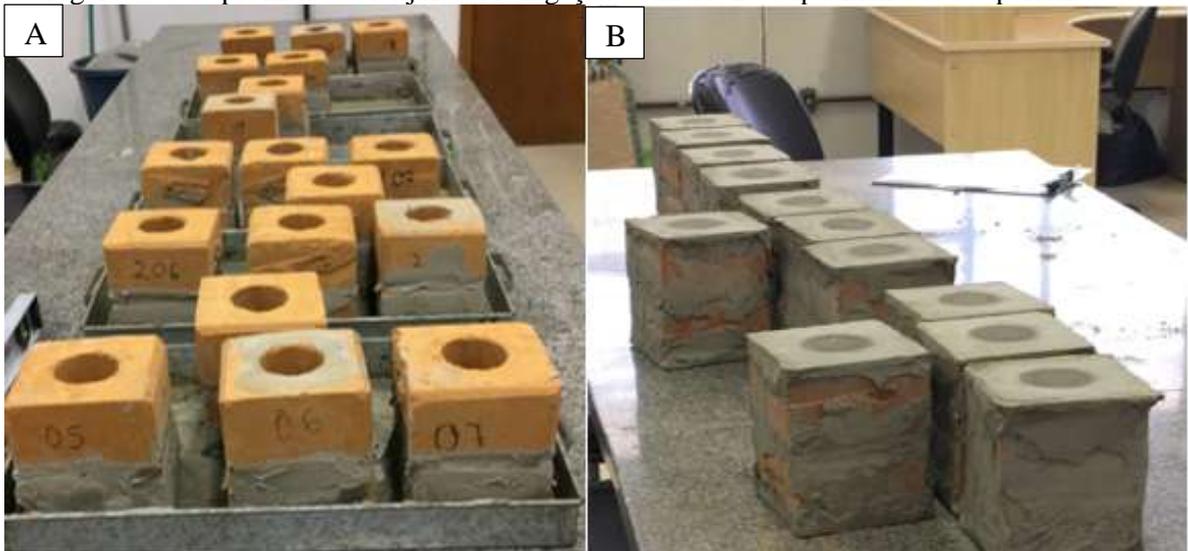
Fonte: o autor.

4.2.4 Caracterização físico-mecânica do tijolo

Após, a fabricação dos tijolos solo-cimento com substituição do solo por RCC realizou-se os ensaios especificados pela ABNT NBR 8492 (2012). Assim, foi realizado a análise dimensional em todos os tijolos fabricados com a realização de 3 medidas em diferentes pontos de cada lado do tijolo, sendo uma em cada extremo e uma no meio, com exatidão de 0,5 mm.

Os corpos de provas para o ensaio à compressão axial simples foram realizados com os seguintes passos: cortou-se os tijolos ao meio, sobrepôs-se as duas partes e ligou-as as duas metades invertidas com uma camada fina de argamassa colante tipo II (Figura 39.A). Logo após, regularizou-se as faces com a execução do capeamento nas duas faces dos tijolos (Figura 39.B), com um intervalo de 12 horas do procedimento de uma face para outra, conforme especifica a ABNT NBR 8492 (2012).

Figura 39 – Capeamento dos tijolos. A- Ligação do meio. B- Capeamento das superfícies.



Fonte: o autor.

Após o endurecimento colocou-os na máquina de ensaio à compressão da marca Quanteq, modelo UTM –Q30.000 do Laboratório de Materiais de Construção (Figura 40) da UFT. Assim, aplicou-os carga uniforme gradativa até ocorrer a ruptura do corpo de prova (Figura 41).

Figura 40- Compressão dos tijolos. A- Prensa utilizada. B- Corpo de prova na prensa.



Fonte: o autor.

Figura 41- Tijolo rompido.



Fonte: o autor.

As dimensões das faces de trabalho foram determinadas com exatidão de 1 mm de acordo com a ABNT NBR 8492 (2012), sem o desconto das áreas de furos ou reentrâncias.

Assim, os valores de resistência à compressão foram obtidos dividindo a carga máxima observada durante o ensaio pela área da face de trabalho, conforme a Equação (2) a seguir:

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

Onde:

f_t é a resistência à compressão simples, expressa em Megapascals (MPa);

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

S é a área de aplicação da carga, expressa em milímetros quadrados (mm²).

O ensaio de absorção foi realizado com três corpos de provas de cada traço, assim seguiu-se os seguintes passos: secou-os em estufa (Figura 42) com 105°C até a massa ficar constante, e anotou a massa m_1 em gramas (g).

Figura 42- Secagem dos corpos de prova para ensaio de absorção.



Fonte: o autor.

Ao atingir a temperatura ambiente colocou-os no tanque por 24 horas, após a retirada dos corpos de provas enxugou-os superficialmente e pesou-os (Figura 43), assim teve-se a massa m_2 em gramas (g) do corpo de prova saturado,

Figura 43- Pesagem dos corpos de provas saturados.



Fonte: o autor.

Através da Equação (3) calculou-se a absorção de água dos tijolos.

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

A é a absorção de água, expressa em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco em estufa, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

4.2.5 Análise dos resultados

Após a realização da caracterização físico-mecânica do tijolo fabricado, teve-se o uso de teste estatístico que contribuiu para uma melhor compreensão dos resultados e obtenções de conclusões satisfatórias, com a análise de variância (Anova). Assim, a análise de variância possibilitou avaliar afirmações sobre as médias de resistência de cada Traço, ao verificar se existe uma diferença significativa e se a substituição de resíduo por solo na mistura exerce influência significativa.

A Análise de Variância (ANOVA) é um procedimento utilizado para comparar a média de três ou mais grupos a um só tempo utilizando variáveis aleatórias contínuas. O teste é paramétrico, a variável de interesse deve ter distribuição normal e os grupos têm que ser

independentes. Um dos pressupostos de ANOVA é que não existem diferenças significativas entre as variâncias dos vários grupos. O teste tem a característica de avaliar a influências dos fatores isoladamente ou em conjunto sobre a variável resposta. O primeiro caso refere-se quando é verificada a influência separada dos parâmetros, e o segundo, quando os parâmetros são avaliados dois a dois, três a três, ou mais (IZQUIERDO, 2011). Nesta pesquisa o parâmetro será a substituição de resíduos da construção pelo solo.

A “tabela Anova” fornece um valor F, obtido da distribuição F de probabilidades, a partir do qual será tomada a decisão de rejeitar ou aceitar a hipótese nula. A hipótese nula consiste na afirmação de que as variáveis não interferem no parâmetro fixo. Neste estudo, a hipótese nula seria a não influência da substituição pelo solo de resíduos da construção civil na resistência à compressão dos tijolos nos traços.

Compara-se o $F_{\text{observado}}$ (F_o) com o $F_{\text{crítico}}$ (F_c) correspondente ao nível de significância alfa adotado, sendo $F_o < F_c$ a condição que deve ser satisfeita para aceitação da hipótese de igualdade. Também podem ser comparados o valor p e o nível de significância. Quanto menor o valor p, mais significativa é a diferença entre as amostras, ou seja, para aceitação da hipótese nula esse valor deve ser maior que alfa. Neste estudo o nível de significância é de 5%, sendo o valor de $\alpha = 0,05$.

O “teste T” é um teste de hipótese que avalia a igualdade das médias de cada amostra. No caso de se comparar duas amostras, a hipótese nula é aquela em que a diferença das médias é zero, isto é, não há diferenças entre os grupos. Na tabela fornecida pelo “teste T” deve ser observado o valor de P que mostra se há diferença significativa entre as duas amostras se $P < \alpha$, ou se não há diferença significativa entre as duas amostras se $P > \alpha$ (OLIVEIRA, 2009).

O Teste T é um dos testes mais rigorosos e de fácil aplicação para a realização de comparação média, por isso é um dos mais utilizados. É um teste em que a família de todas as comparações em pares apresenta taxa de erros alfa, neste estudo considerada 5%, e um intervalo de confiança de 1-alfa (95%).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico é realizado a apresentação dos resultados dos ensaios descritos na metodologia, como também a sua discussão. A análise dos resultados será feita com baseamento na análise estatística.

5.1 Caracterização física dos materiais utilizados

Neste subtópico é apresentado os resultados das caracterizações dos materiais: solo vermelho (SV), solo argiloso (SA) e do resíduo da construção civil (RCC). Dessa forma, tem-se os resultados dos ensaios de granulometria e a classificação dos materiais, a massa específica, o limite de liquidez, limite de plasticidade e o índice de plasticidade.

5.1.1 Análise granulométrica e classificação

A análise granulométrica por peneiramento e sedimentação foi realizada de acordo com ABNT NBR 7181 (1984), com o objetivo de determinar a curva de distribuição granulométrica dos solos e do resíduo da construção civil em estudo, além de realizar a sua classificação quanto a sua classe textural. Assim, a classificação dos solos e do resíduo foi executada de acordo com as classificações explanadas no referencial teórico deste trabalho: com a Classificação Unificada e o Sistema Rodoviário de Classificação (AASHTO), além da classificação textural pelos diagramas triangulares (USDA). A Tabela 8 ilustra a distribuição granulométrica dos materiais em estudo conforme a classificação textural pelos diagramas triangulares (USDA).

Tabela 8- Distribuição Granulométrica de acordo com a (USDA) do solo vermelho (SV), solo argiloso (SA) e resíduo da construção civil (RCC).

Parâmetros		SV	SA	RCC
Distribuição Granulométrica (%)	Areia (0,05-2,0mm)	53,35	53,65	87,38
	Silte (0,002-0,05mm)	2,84	16,26	1,82
	Argila (<0,002mm)	43,81	30,09	10,80

Fonte: o autor.

Desse modo com os resultados mostrados na Tabela 8, e de acordo com a classificação textural pelos diagramas triangulares (USDA), o solo vermelho obteve 53,35% de areia, 2,84% de silte e 43,81% de argila, sendo classificado como argila-arenosa. O solo argiloso pela mesma

classificação, com 53,65% de areia, 16,26% de silte e 30,09% de argila, sendo classificado também como argila-arenosa. O resíduo da construção civil (RCC) apresentou 87,38% de areia, 1,82% de silte e 10,80% de argila, sendo classificado como areia.

A classificação de acordo com a AASHTO para o solo vermelho, foi como classe A-2-7, tendo como característica solos granulares com finos argilosos de alta plasticidade. O solo argiloso também classificado como A-2-7, tendo assim as mesmas características que o solo vermelho. E por fim, o resíduo da construção foi classificado como A-3, sendo do grupo das areias finas. Pelo sistema de Classificação Unificada, os solos SV e SA foram classificados como SP-SC, que tem como significado areia uniforme argilosa e o RCC como SM, que significa areia siltosa. A Tabela 9 apresenta um resumo das classificações encontradas para os materiais.

Tabela 9- Classificação do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA) e do resíduo (RCC).

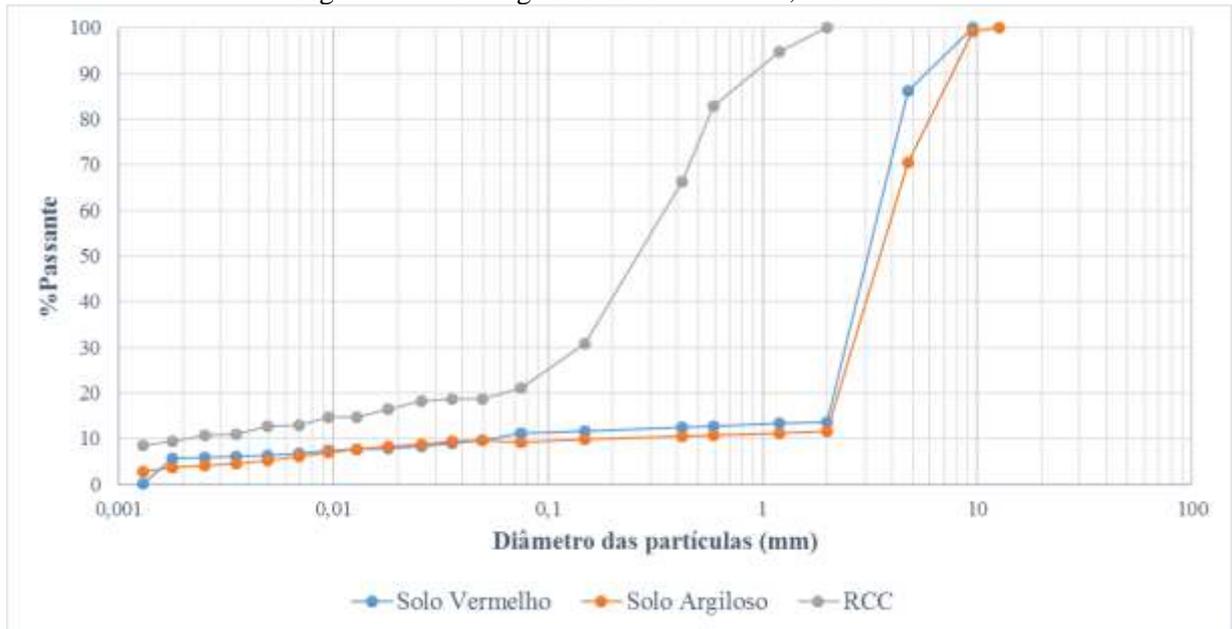
Parâmetros	SV	SA	RCC
Classificação	Argila-arenosa	Argila	Areia
USDA	A-2-7	A-2-7	A-3
AASHTO	SP-SC	SP-SC	SM
Unificada			

Fonte: o autor.

Por conseguinte, segundo a ABNT NBR 10833 (2012) conceitua-se adequado para a produção de tijolo solo-cimento os solos que possuem 100% dos grãos passando na peneira 4,8mm (nº4) e de 10% a 50% passando na peneira 0,075mm (nº200). Assim, os solos SV e SA possuem solo retido na peneira de 4,8mm, por isso para a produção dos tijolos ambos os solos foram peneirados para a retirada dos pedregulhos e a adequação do solo aos critérios da norma. Já o resíduo se adequa pois durante a sua coleta foi passado pelo processo de peneiramento. Conforme cita Campos Jr. (2016) os solos mais recomendados são aqueles compostos por cerca de 50% de areia, 25% de silte e 25% de argila. Assim, os solos SV e SA não são formados por essa proporção, contudo optou-se pela não correção do solo com areia, para observar se o resíduo poderia possibilitar essa correção, visto que a sua característica é a composição arenosa.

A Figura 44 apresenta as curvas granulométricas dos solos SV, SA e do RCC, na qual juntamente com os dados da Tabela 8 exhibe as composições dos materiais estudados.

Figura 44- Curvas granulométricas do SV, SA e RCC.



Fonte: o autor.

5.1.2 Massa Específica

A massa específica dos grãos foi determinada de acordo com ABNT NBR (1984), com a utilização de 2 picnômetro de 500 cm³ para cada material estudado, tendo como resultado os valores apresentados na Tabela 10. É de fundamental importância saber o seu valor, pois através dele é possível realizar os cálculos para o ensaio de sedimentação, ao relacionar o tamanho da partícula com a velocidade com que ela sedimenta em um líquido.

Tabela 10- Massa específica do solo vermelho (SV), solo argiloso (SA) e do resíduo da construção civil (RCC).

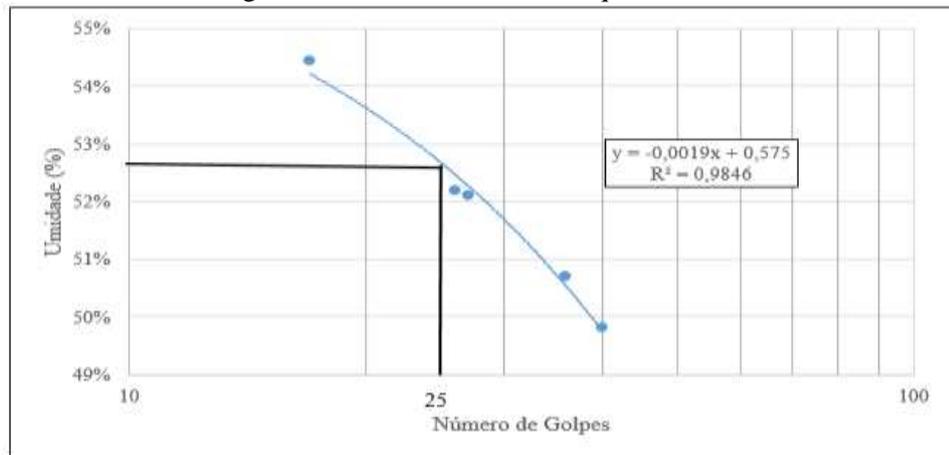
Parâmetros	SV	SA	RCC
Massa específica dos grãos (g/cm ³)	2,73	2,60	2,52

Fonte: o autor.

5.1.3 Limite de Liquidez

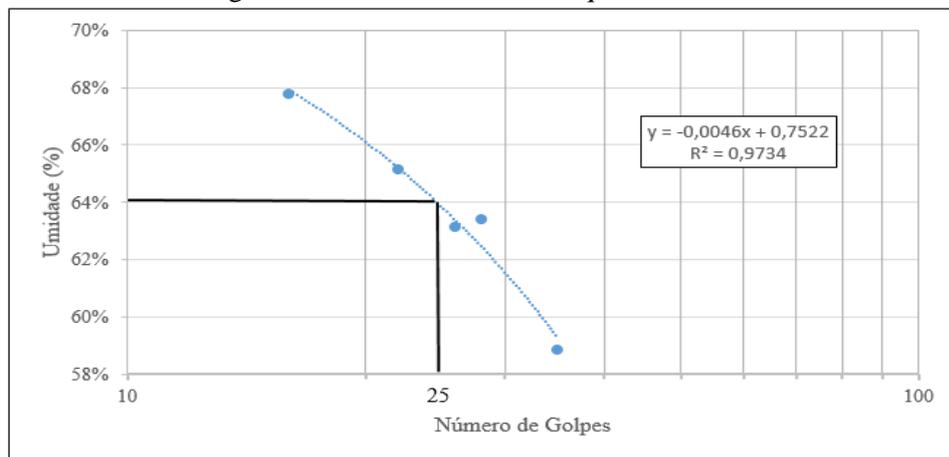
Os limites de liquidez foram realizados de acordo com ABNT NBR 6459 (1984), na qual para cada material foram determinados cinco pontos e gerados gráficos conforme as Figuras 45,46 e 47. Assim, ligou-se o ponto de 25 golpes com a reta de tendência e encontrou-se a umidade relativa dos limites de liquidez para cada material, exibido na Tabela 11.

Figura 45- Gráfico Limite de Liquidez SV.



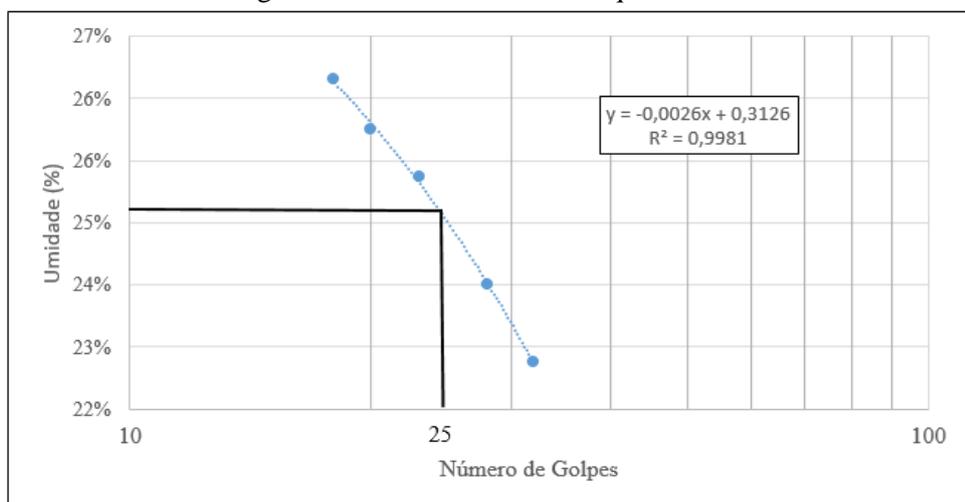
Fonte: autor.

Figura 46- Gráfico Limite de Liquidez SA.



Fonte: autor.

Figura 47- Gráfico Limite de Liquidez RCC.



Fonte: autor.

Tabela 11- Limite de Liquidez do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA) e do resíduo (RCC).

Parâmetros	SV	SA	RCC
Limite de liquidez (%)	52,5	64	25

Fonte: o autor.

Contudo, de acordo com a ABNT NBR 8491 (2012) é recomendado produzir tijolos solo-cimento com limite de liquidez inferior a 45%. Com essa recomendação os solos SV e SA se encontram impróprios para a produção dos tijolos, pois tiveram limites superiores a esse número, e o RCC se encontra apto. Desse modo, pelo resíduo estar dentro dos parâmetros decidiu-se não fazer a correção nos solos para observar o comportamento do RCC nos tijolos, assim como foi feito com a granulometria. De acordo com o autor Neves (2011), solos com altos limite de liquidez, ou seja, solos em que possuem teores de água acima de 45%, são mais difíceis de se estabilizar com cimento, se tornam mais compressível e oferecem menor resistência à compressão.

5.1.4 Limite de Plasticidade

Os limites de plasticidade foram definidos conforme a ABNT NBR 7180 (1984), através da média de três pontos e obtido os valores citados na Tabela 12.

Tabela 12- Limite e índice de plasticidade do Solo Vermelho (SV), Solo Argiloso (SA) e resíduo (RCC).

Parâmetros	SV	SA	RCC
Limite de plasticidade (%)	41	42	NP
Índice de Plasticidade (IP)	11,5	22	NP

Fonte: o autor.

Dessa forma, de acordo com a ABNT NBR 8491 (2012) é recomendado a utilização de solos com limite de plasticidade inferior a 18%, assim, é visto que os solos vermelho e argiloso não possuem esse parâmetro dentro dos padrões exigidos pela norma, pois ambos apresentaram os limites maiores que o valor estipulado de 18%. Contudo, manteve-se a utilização dos solos sem alteração das suas propriedades para verificar a influência da adição do resíduo da construção civil na absorção de água e na resistência dos tijolos.

Assim, o resíduo foi considerado não plástico (NP), devido a sua característica arenosa, não foi possível moldá-lo para definição dos seus pontos. Desse modo, de acordo Lopes (2002) a plasticidade de um solo está ligada à textura e à natureza mineralógica das argilas presentes,

assim, quanto maior o índice de plasticidade mais o material está propício a variações dimensionais, resultado do inchamento do solo quando úmido e retração quando seco. O autor afirma também que os solos arenosos são considerados não plásticos.

Como cita a ABNT NBR 7180 (1984) o índice de plasticidade (IP) é definido da subtração do Limite de Liquidez (LL) pelo Limite de Plasticidade (LP). Assim, o IP do solo vermelho de 11,5% é classificado por Das (2010) como plasticidade média e o IP do solo argiloso foi de 22,5% e classificado como plasticidade alta.

Desse modo, os solos SV e SA se encontraram fora dos critérios para seleção de solos estabelecidos pela ABNT NBR8491 (2012), visto que ambos possuem limites de liquidez maiores que 45% e limites de plasticidade maiores que 18%, ambos estabelecidos pela norma. Já o RCC apresentou valores em sua caracterização física que estão conformes com a norma. Contudo, como já foi comentado anteriormente, permaneceu-se com a utilização destes solos, pois são os solos utilizados para a fabricação de tijolos de solo-cimento na região de Palmas-TO. Nenhum solo cumpriu os requisitos estabelecidos, contudo se espera que os resíduos alterem as características da mistura.

5.2 Ensaio de absorção de água dos tijolos

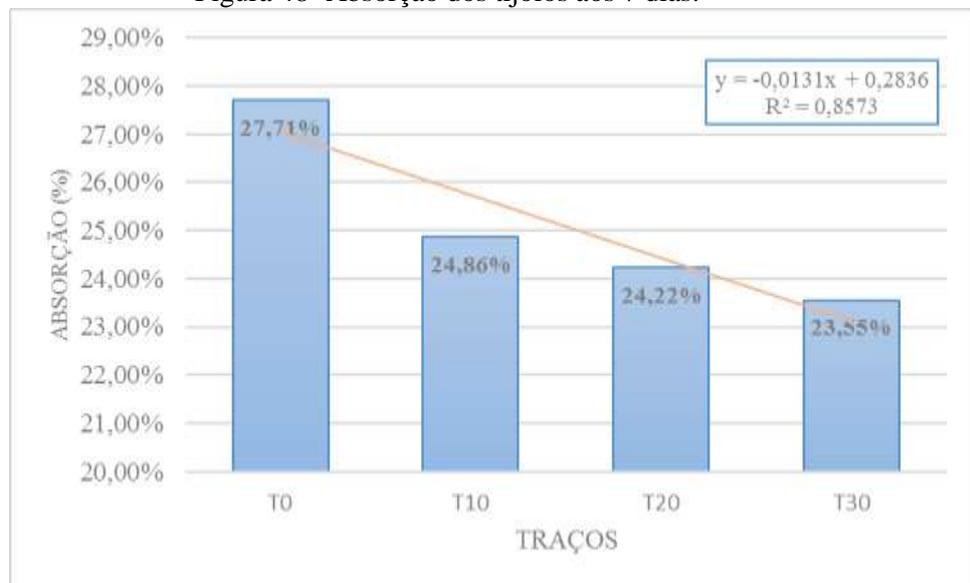
A ABNT NBR 8491 (2012) especifica que a absorção de água deve ser inferior a 20% aos 7 dias. Na Tabela 13 tem-se os resultados obtidos com os ensaios realizados aos 7 dias, e na Figura 48 o gráfico com a média dos resultados.

Tabela 13 – Absorção dos tijolos aos 7 dias.

Traço	Corpos de prova	Massa seca (g)	Massa Saturada (g)	Absorção
TR0	01	2666,7	3444,6	29,17%
	02	2826,2	3555,0	25,79%
	03	2701,4	3462,2	28,16%
	Média	2731,4	3487,3	27,71%
TR10	01	2878,1	3582,7	24,48%
	02	2784,6	3508,9	26,01%
	03	2831,1	3513,0	24,09%
	Média	2831,3	3534,9	24,86%
TR20	01	2834,6	3525,6	24,38%
	02	2753,1	3452,6	25,41%
	03	2842,4	3492,9	22,89%
	Média	2810,0	3490,4	24,22%
TR30	01	2823,0	3489,8	23,62%
	02	2810,1	3469,4	23,46%
	03	2843,6	3513,5	23,56%
	Média	2825,6	3490,9	23,55%

Fonte: o autor.

Figura 48- Absorção dos tijolos aos 7 dias.



Fonte: o autor.

Desse modo, de acordo com as especificações da ABNT NBR 8491 (2012) que pede os valores individuais médios $\leq 20\%$ e individuais $\leq 22\%$ aos 7 dias, nenhum traço atendeu aos requisitos. Contudo, pode-se observar que conforme aumentou a porcentagem da substituição de resíduos diminuiu a absorção de água dos tijolos. Nota-se que com o aumento da

porcentagem de resíduos na composição da massa do tijolo a absorção diminui chegando quase aos 20% que é o valor máximo exigido pela referida norma. Acredita-se que com a substituição do RCC pelo solo a massa ficou mais compacta e homogênea, já que tanto o solo utilizado (vermelho e argiloso) e o resíduo tiveram características diferentes nas suas propriedades físicas.

5.3 Ensaio de resistência à compressão simples

As Tabelas A1 a A4 no apêndice exibe os valores encontrados no ensaio da resistência à compressão simples dos 4 traços na idade de 7 e 28 dias. Esses resultados, com ajuda dos testes estatísticos, serão analisados com a finalidade de verificar se os tijolos alcançaram a resistência mínima à compressão exigida pela ABNT NBR 8491 (2012). Também será analisado se a substituição do resíduo da construção pelo solo na composição do tijolo gera ou não aumento de resistência à compressão e qual seria a porcentagem de substituição ideal.

A Tabela 14 mostra os valores médios da resistência à compressão de todos os traços assim como os valores estatísticos; desvio padrão e coeficiente de variação.

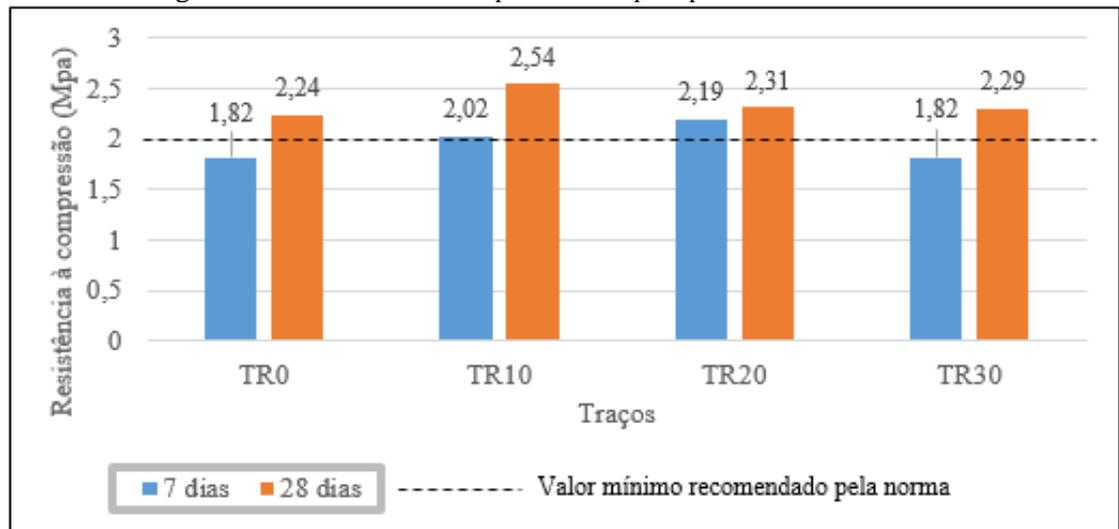
Tabela 14- Média, Desvio Padrão e Coeficiente de Variância dos traços em 7 e 28 dias.

	7 dias				28 dias			
	TR0	TR10	TR20	TR30	TR0	TR10	TR20	TR30
Média	1,82	2,02	2,19	1,82	2,24	2,54	2,31	2,29
D.P	0,17	0,20	0,23	0,40	0,09	0,10	0,03	0,08
C.V(%)	9,42	10,15	10,32	21,76	4,05	3,98	1,49	3,42

Fonte: o autor.

O gráfico da Figura 49 mostra os valores médios da resistência à compressão simples dos traços para as idades de 7 e 28 dias assim como o valor mínimo recomendado pela norma ABNT NBR 8491 (2012) que é de 2 MPa para considerar os tijolos como de vedação.

Figura 49- Resistência à compressão simples para 7 e 28 dias.



Fonte: o autor.

5.3.1 Comparação da resistência à compressão aos 7 dias

Desse modo, a ABNT NBR 8491 (2012) diz que o valor médio da resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento não deve ser inferior a 2,0 MPa e o valor individual dos tijolos não deve obter valor menor que 1,7MPa. Assim, verificou-se que os traços TR0 e TR30 obtiveram valores inferiores aos prescritos pela norma na idade de 7 dias. Os demais traços encontram-se em conformidade com a norma, com destaque para o traço TR20 que obteve o maior valor médio (2,02 MPa) e o maior valor individual (2,44 MPa).

Araújo (2003) diz que os fatores que influenciam os valores de resistência à compressão no concreto são: modo da cura, composição do material, condições da aplicação da carga (ensaio estático ou dinâmico), duração do carregamento (ensaio de curta ou longa duração), estado de tensões, idades dos corpos de prova, formas e dimensões. Da mesma forma que o concreto, pode-se dizer que esses fatores influenciam diretamente os valores encontrados no ensaio de compressão dos tijolos, sobretudo o modo de cura utilizado, pois os corpos de prova foram moldados no período de estiagem com baixa umidade, o que dificultou uma boa execução com o processo de cura úmida. Visto que este processo de cura utiliza apenas lonas para cobri-los sem a molhagem constante com água, e devido a baixa umidade do período da pesquisa, o processo pode ter se mostrado insuficiente para uma boa cura, influenciando assim na resistência dos tijolos.

Assim como observado no trabalho de Lima (2013), percebeu-se nesta pesquisa que a homogeneização do material de forma manual pode ter acarretado em falta de homogeneidade

das misturas, o que pode ter interferido na baixa resistência aos 7 dias do corpo de prova 1 do TR0 (1,57MPa) e no corpo de prova 3 do TR30 (1,78MPa).

Como é esperado observou-se ganho de resistência no ensaio à compressão de 7 para 28 dias nos quatro traços, sendo mais de 20% de ganho de resistência nos traços TR0, TR10 e TR30 como ilustra a Tabela 15. Já no traço TR20 esse ganho de resistência foi moderado com 5,46%.

Tabela 15- Comparativo de resistência à compressão entre 7 e 28 dias.

Traço	Resistência a compressão (MPa)		Ganho de resistência
	7 dias	28 dias	
TR0	1,82	2,24	23,28%
TR10	2,02	2,54	25,66%
TR20	2,19	2,31	5,46%
TR30	1,82	2,29	26,07%

Fonte: o autor.

5.3.2 Comparação da resistência à compressão aos 28 dias

Como pode se apreciar na Figura 49 os tijolos com substituição do solo por resíduos da construção na sua composição obtiveram bons resultados se comparados com os tijolos sem substituição (traço de referência). Os três traços com adição de RCC (TR10, TR20 e TR30) apresentaram valores médios de resistência à compressão superiores ao traço de referência (TR0). Isto pode estar associado a que, como se comentou anteriormente, os solos tanto o vermelho como o argiloso não cumpriram os requisitos exigidos pela norma para a produção de tijolos. Sem embargo, apesar dos solos não estarem adequados para a produção de tijolos, os mesmos (TR0) alcançaram uma resistência média à compressão aos 28 dias superior aos 2 MPa como exigido pela norma ABNT NBR 8491 (2012). Já aqueles com a substituição do resíduo da construção alcançaram valores de resistência superiores.

Como já foi citado, os solos vermelho e argiloso tiveram alto índices de liquidez e de plasticidade, o que provoca menor resistência à compressão, maior dificuldade de estabilização com o cimento, o que os tornam mais compressível e sujeito a variações dimensionais, resultado do inchamento do solo quando úmido e retração quando seco. Já o RCC apresentou valores em sua caracterização física que estão conformes com a norma. Portanto, ao substituir-se o resíduo da construção pelo solo vermelho e argiloso houve uma correção da massa deixando-a mais uniforme, menos plástica e com menos índices de liquidez provocando uma melhor

estabilização com o cimento. Dessa forma, os tijolos com substituição de resíduos alcançaram resistências superiores aos tijolos sem substituição.

Pode-se observar também, que a resistência à compressão do traço TR10 foi a maior dos quatro traços, indicando que a substituição do solo por 10 % de RCC é a ideal para corrigir o solo e assim alcançar maiores valores de resistência à compressão. A medida que aumenta a porcentagem de substituição do resíduo os valores de resistência à compressão do solo diminuem, não sendo essas porcentagens (20 % e 30%) as ideais para a produção dos tijolos.

Estas afirmações realizadas até aqui com os valores de resistência à compressão dos quatro traços só puderam ser afirmadas por meio da análise estatística, que será explicada a seguir.

5.4 Análise estatística

Neste tópico será realizada a análise estatística que vai contribuir satisfatoriamente à compressão dos resultados alcançados e assim chegar a conclusões mais precisas sobre a substituição do solo por resíduos da construção para a execução de tijolos ecológicos. Os testes que foram realizados para esta análise foram o Teste de Análise de Variância (ANOVA) e Teste T (t de Student). Tais análises foram realizadas utilizando-se o programa Microsoft Office Excel. A seguir serão explicados os resultados obtidos.

5.4.1 Análise estatística dos resultados da resistência à compressão dos tijolos com e sem substituição do RCC.

A Tabela 16 apresenta os resultados para o teste Anova considerando-se a influência da substituição pelo de RCC na resistência à compressão dos tijolos aos 7 dias.

Tabela 16- Anova da resistência média à compressão simples (7 dias).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,38354	3	0,12785	1,83778	0,19402	3,49029
Dentro dos grupos	0,8348	12	0,06957			
Total	1,21835	15				

Fonte: o autor.

Nota-se na Tabela 17 que a substituição de resíduo da construção civil nos tijolos aos 7 dias de idade não apresentou diferença significativa na resistência à compressão. Visto que apresentou um $F < F_{\text{crítico}}$, e o seu valor P superior a 0,05, portanto, aceita-se a hipótese nula, ou seja, o resíduo incorporado nos tijolos não influenciou na resistência à compressão dos mesmos.

Já a Tabela 21 apresenta os resultados para o teste Anova aos 28 dias de idade. Segundo os resultados da tabela pode-se concluir que a substituição de resíduos da construção civil na confecção dos tijolos apresentou diferença significativa nos valores de resistência à compressão aos 28 dias ($F > F_{\text{crítico}}$ e o valor P inferior a 0,05).

Tabela 17 – Anova da resistência média à compressão simples (28 dias).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,20585	3	0,06862	10,6583	0,00106	3,49029
Dentro dos grupos	0,07725	12	0,00644			
Total	0,2831	15				

Fonte: o autor.

Como foi rejeitada a hipótese nula teve-se a necessidade da realização do Teste- T , com o intuito de saber qual traço é o que apresenta diferença significativa sobre os outros. Para isso, foram realizadas as comparações entre todas as combinações de dois Traços, como demonstra Tabela 18.

Tabela 18- Teste T para os valores da resistência média à compressão simples dos traços (28 dias).

Comparações entre duas médias	Teste T		
	T	Valor P	T crítico
TR0 - TR10	4,3400	0,0048	2,4470
TR0 - TR20	1,3500	0,2240	2,4470
TR0 - TR30	0,8480	0,4290	2,4470
TR10 - TR20	4,2900	0,0051	2,4470
TR10 - TR30	3,8100	0,0088	2,4470
TR20 - TR30	0,3500	0,7393	2,4470

Fonte: o autor.

Analisando-se as combinações da Tabela 18, nota-se como as duplas onde aparece o traço TR10 foram as que apresentaram valores de P menores do que o valor de P estipulado pela pesquisa ($\alpha=5\%$), ou seja, rejeitasse a hipótese nula. Portanto, pode-se concluir com a realização desta pesquisa que o traço TR10 influenciou na resistência à compressão dos tijolos,

sendo essa resistência superior a todos os demais traços. Assim a substituição de RCC por parte do solo na composição do tijolo solo-cimento exerceu influência na resistência à compressão do tijolo, sendo a melhor proporção de substituição 10%.

Recomenda-se como futuras pesquisas, continuar estudando essas substituições com distintos materiais de solos, diferentes porcentagens e a realização de outros ensaios para assim chegar a conclusões mais precisas.

6 CONCLUSÕES

No decorrer do desenvolvimento do presente estudo e de acordo com os objetivos estabelecidos no início deste trabalho, esta pesquisa foi dividida em duas etapas fundamentais. A primeira consistiu na caracterização dos materiais utilizados para a confecção do tijolo solo-cimento com substituição de resíduos da construção civil pelo solo. A segunda etapa enfocou o estudo nas características físico-mecânicas do tijolo moldado conforme a ABNT NBR 8491 (2012) com o estudo da absorção de água e resistência à compressão. A seguir são apresentadas as principais conclusões de cada uma dessas etapas e são sugeridas algumas recomendações para trabalhos futuros.

Na caracterização detalhada das principais propriedades físicas dos solos, realizou-se os ensaios de granulometria, sedimentação, massa específica, limite de liquidez e limite de plasticidade, a fim de avaliar o material com que se confeccionou os tijolos, tendo assim, tratado o resíduo da construção civil como um solo para a realização desses ensaios. Teve-se como resultados que o solo vermelho e o solo argiloso não ficaram dentro dos critérios exigidos por norma, com índices de liquidez e plasticidade acima do recomendado pela norma ABNT NBR 8491 (2012). Sem embargo, o resíduo da construção civil se encontrou dentro dos parâmetros recomendados pela norma. Recomenda-se para os próximos estudos realizar os ensaios com as misturas de cada traço, para verificar a influência da adição do resíduo da construção civil nos índices de plasticidade e liquidez.

No ensaio de absorção todos os quatro traços não atenderam os requisitos exigidos pela norma ABNT NBR 8491 (2012), apresentando valores médios de absorção de água superiores aos 20%. Contudo, pode-se afirmar que conforme foi aumentando a porcentagem da substituição do resíduo pelo solo, diminuiu a porcentagem de absorção de água do tijolo, sendo o traço TR30 o que mais se aproximou do valor estipulado pela norma. Assim, recomenda-se para próximas pesquisas traços com porcentagem de substituição maiores que 30% para verificar com qual porcentagem de substituição os tijolos estarão de acordo com a norma, ou seja, com valores médios de absorção de água inferiores a 20%.

No ensaio de resistência à compressão simples de 7 dias, os traços TR0 e TR30 se mostraram inapropriados com resistência inferior a 2MPa exigidos pela ABNT NBR 8491 (2012). Os traços TR10 e TR20 se mostraram aptos com resistências superiores aos 2MPa.

No ensaio de resistência à compressão simples aos 28 dias todos os traços se mostraram aptos perante o parâmetro de resistência mínimo de 2MPa exigidos pela norma para os valores médios de resistência. Desta forma, conclui-se que os traços utilizados nesta pesquisa são ideais

para a confecção de tijolos ecológicos com função não estrutural. A análise estatística com o teste ANOVA, demonstrou que a substituição de resíduos da construção pelo solo influencia na resistência à compressão média dos tijolos. Assim, o teste T demonstrou que o traço que alcança valores superiores de resistência, inclusive maiores que o referencial, é o traço com 10% de substituição (TR10).

Por fim, com a realização deste trabalho recomenda-se a substituição parcial do solo por resíduos da construção civil para a produção de tijolos solo-cimento. Se faz necessário a realização de mais pesquisas para chegar a conclusões mais precisas com relação a este tema.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se um estudo experimental variando-se tipos de traços com outras porcentagens de substituição de resíduo da construção civil maiores que as utilizadas neste estudo. Fazer uma correção prévia dos solos utilizados, para que sejam empregados solos com parâmetros de acordo com a norma. Recomenda-se também quantificar a influência do clima de Palmas-TO no processo da cura e posteriormente na resistência dos traços analisados por meio de comparação entre comportamentos da cura ao ar livre, na sombra e em laboratório.

REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex Kenya. **Tecnologias apropriadas: tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento**. 1981. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Usp, São Paulo, 1981. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12052017-090330/pt-br.php>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

ARAÚJO, Janaína. **Mecânica dos solos**: Palmas: Imagem, 2015. 52 slides, color.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. V. 1, 2ª ed. Rio Grande - RS: Dunas, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento-Normas de Dosagem e Métodos de ensaios**. 3.ed. São Paulo: ABCP, 2004.

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

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

_____. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6502**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 8491**: Tijolo de solo-cimento - Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 8492**: Tijolo de solo-cimento – Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10833**: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica- Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 16697**: Cimento Portland- Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NM-ISO 3310-1/2010**: Peneiras de Ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Rio de Janeiro, 2010.

BARBOSA, Normando Perazzo *et al.* **Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante Para a Sustentabilidade da Construção**. 2002.

Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268431190_Blocos_de_Concreto_de_Terra_Uma_Opcao_Interessante_Para_a_Sustentabilidade_da_Construcao>. Acesso em: 16 abr. 2019.

BASTOS, C. **Compactação dos solos**, DMC/FURG. Mecânica dos Solos. Prof. Cezar Bastos p. 001. 2015. Disponível em:

<<ftp://ftp.ifes.edu.br/cursos/Transportes/CelioDavilla/Solos/Literatura%20complementar/Apostila%20FURG%20Solos/07-%20COMPACTACAO.pdf>> Acesso em: 31 mar. 2019.

BRASIL. CONAMA (2002). Resolução nº 307, de 5 de junho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. . p. 95-96.

Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

CAMPOS JR., Paulo Borges. **Produção de tijolos de solo-cimento**. Piracicaba: Unimep, 2016. 73 p.

CARVALHO, Analice Lima de. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica e Física em Matrizes de Terra**. 2011. - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, PUC-RJ, Rio de Janeiro, 2011.

CARVALHO, T. M. P.; LOPES, W. G. R. **A arquitetura de terra e o desenvolvimento sustentável na construção civil**. VII CONNEPI Palmas, TO. 2012.

COLIN, Sílvio. **Técnicas construtivas do período colonial – I**. 2010. Disponível em: <<https://coisasdaarquitectura.wordpress.com/2010/09/06/tecnicas-construtivas-do-periodo-colonial-i/>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

CEULP/ULBRA-TO. Engenharia Civil. **Visita técnica a Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil**.2018. Disponível em: <<http://ulbra-to.br/cursos/Engenharia-Civil/noticia/2018/10/11/Visita-tecnica-a-Usina-de-Reciclagem-de-Residuos-da-Construcao-Civil>>. Acesso em: 10 maio 2019

Das, BRAJA M. **Fundamentos de engenharia geotécnica**, 6 ed. Rio de Janeiro: Cengage. 2010.

ECOTERM (Minas Gerais). **Tijolo ecológico**. 2019. Disponível em: <<http://tijoloecoterm.com/tijolo-ecologico>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

ECOVSM (São Paulo). **Tijolo modular ecológico**. 2019. Disponível em: <<http://www.ecovsm.com.br/obrasmandamento.html>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

FERRAZ JUNIOR, F. de A. C. **Equipamentos modernos para a produção de tijolos de terra prensada**. In: WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA. São Paulo. Anais. NUTAU-FAUUSP. p.163-179. 1995.

FIQUEROLA, Valentina. Alvenaria de solo-cimento. **Revista Técnica**, São Paulo, v. 85, n. 17, abr. 2004. Mensal. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

FRANCO, L. S; AGOPYAN, V. **Implementação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1993.

GEOTECNIA E FUNDAÇÃO (Brasil). **Compactação de Solos**. 2019. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/geotecniaefundacao/terraplenagem/compactacao-de-solos>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

GLOBO (Brasil). **Emprego, PIB, qualidade de vida: conheça as contribuições da construção civil para o Brasil**. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/especial-publicitario/em-movimento/noticia/2018/12/17/emprego-pib-qualidade-de-vida-conheca-as-contribuicoes-da-construcao-civil-para-o-brasil.ghtml>>. Acesso em: 11 maio 2019.

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

HOFFMANN, Luana Gabriela *et al.* Alvenaria Estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional. **III Simpósio de Pós-graduação em Engenharia Urbana**, Maringá, p.1-10, 7 nov. 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. **Manual técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2007.

IZQUIERDO, I. S.. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. 2011. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

KARPINSKI, Luisete Andreis *et al.* **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: Uma abordagem ambiental**. Porto Alegre: Edipucrs, 2009. 163 p. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/orgaos/edipucrs/>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

LIMA JÚNIOR, Humberto. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 3, p.511-518, 29 abr. 2002.

LIMA, Rosa do Carmo de Oliveira. **Estudo da durabilidade de paredes monolíticas e tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, Campina Grande – Pb, 2010. Cap. 2

LIMA, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira. **Blocos de terra compactada de solo-cimento com resíduo de argamassa de assentamento e revestimento: caracterização para uso em edificações**. 2013. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, FAUNB, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2013. Cap. 1.

LOPES, Wilza Gomes Reis. **Solo-cimento reforçado com bambu: características físico-mecânicas**. 2002. 158p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em:

<<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/257285>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

MACHADO, Julia Favretto. **Diretrizes para projetos em alvenaria estrutural –**

Modulação e detalhamentos. 2014. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, Brasil, 2014.

MAKUSA, G. P. **Soil stabilization methods and materials in engineering practice: State of the art review**. Sweden: Lulea° University of Technology, 2013.

MATOS, João Paulo Cavalcante; ALENCAR, Tharsis Cidália de Sá Barreto Diaz de. Gerenciamento de Resíduos Sólidos e a Aplicação da Logística Reversa no Segmento da Construção Civil. **Id on Line Rev.Mult. Psic.**, 2019, vol.13, n.43, p. 784-807. ISSN: 1981-1179.

MARQUES, G. L. O. **Estabilização dos solos para fins de pavimentação**. Juiz de Fora/MG: Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010.

MILANI, A. P. S, FREIRE, W.J. Características Físicas e mecânicas de misturas de solo, cimento e casca de arroz. In: **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, V. 26, n.1, p. 1-10, Jan/Abr. 2006.

MILANI, Ana Paula da Silva; FREIRE, Wesley Jorge. Avaliação física, mecânica e térmica de misturas de solo-cimento adicionadas de cinza de casca de arroz sem atividade pozolânica. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Campinas, Sp, v. 1, n. 11, p.23-30, abr. 2008.

MMA, Brasil. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/constru%C3%A7%C3%A3o-sustent%C3%A1vel.html>>. Acesso em: 10 maio 2019.

NEVES, Célia Maria Martins et al. (2010). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA.

OLIVEIRA, L. M. F. **Cisalhamento nas interfaces verticais de paredes de edifícios de alvenaria estrutural**, 2009. 270p. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, R. F. V. de. **Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento de pavimentos**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

PALANCIO, Augusto. **Dicas de como construir uma parede de pau a pique**. 2014. Disponível em: <<https://www.vaicomtudo.com/como-construir-uma-parede-de-pau-pique.html>>. Acesso em: 25 out. 2019.

PEREIRA, Caio. **Alvenaria de Vedação – Vantagens e Desvantagens**. Escola Engenharia, 2018. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/alvenaria-de-vedacao/>. Acesso em: 22 de novembro de 2019.

PEREIRA, Caio. **Tijolo ecológico: o que é, tipos, vantagens e desvantagens.** 2019. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/tijolo-ecologico/>>. Acesso em: 24 abr. 2019.

PINTO, A.R.A.G., 2008. Dissertação: **Fibras de curauá e sisal como reforço em matrizes de solo** / orientador: Khosrow Ghavami. – Rio de Janeiro: PUC. Departamento de Engenharia Civil, 2008.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas/3ª Edição.** São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2006. 363p.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Taipas: A Arquitetura de Terra.** Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo – CEFET/SP, São Paulo, 2007. Disponível em:<<http://www.scribd.com/doc/6661453/Bioconstrucao-Mariaaugustajustipisani-Taipas-Arquiteturade>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento.** São Paulo, 2003. Disponível em:<http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/N%C3%BAmero%201/1_artigo_tijolos_solo_cimento.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2019.

PONTES, M. M. C., **Arquitetura de terra: um desenho para a durabilidade das construções.** 2012. 316 f. Dissertação. Faculdade de ciências e tecnologias da Universidade de Coimbra. Coimbra.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** São Paulo: Píni, 2003.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **O Solo como Material de Construção.** 2. ed. Salvador-BA: Coleção Pré-textos, 2001. 76 p.

SANTOS, Jaime A. **Compactação: elementos teóricos.** 1: Instituto Superior Técnico, 2008. 18 p. Disponível em: <http://www.civil.ist.utl.pt/~jaime/Compacta_T.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2019.

SANTOS, M. N. **Análise do Efeito da Estabilização Mecânica em Matrizes de Terra.** PUC – Relatório de iniciação científica, Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, Juarez Pereira da. **Caracterização de resíduos de construção civil na cidade de Palmas-TO**. 2015. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2015.

SOUSA, Bruna Hister N. de *et al.* **Tijolos de solo-cimento desenvolvidos com a incorporação de resíduos**. Bélem- Pa: 2017. 11 p. Disponível em: <<https://even3.azureedge.net/anais/45860.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2019

SOUZA, Marcia Ikarugi Bomfim de. **Análise da adição de resíduos de concreto em tijolos prensados de solo-cimento**. 2006. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

TAUIL, C. A.; NESSE, F. J. M. **Alvenaria Estrutural – Metodologia do Projeto, Detalhes, Mão de Obra, Normas e Ensaios**. São Paulo: Pini, 2010.

TONIN, Fabio. **Compactação dos Solos**. São Paulo, 2013. 54 slides, color. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2013/06/aula-compactacao-solos.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

VALADÃO, Izabella Christynne Ribeiro Pinto et al. Tijolo ecológico confeccionado com cédulas de dinheiro sem valor. **Semioses**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.1-7, 26 dez. 2017. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. <http://dx.doi.org/10.15202/1981996x.2017v11n4p64>.

VALENCIANO, Martha del Carmen Mesa. **Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorado com cimento**. 1999. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Construções Rurais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Sp, 1999.

WEBER, Eduardo; CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGHA, Tiago. Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na construção civil. **Ignis**, Caçador, v. 6, n. 2, p.18-34, maio/ago 2017. Semestral.

APÊNDICE

A1. Resultados do ensaio de resistência à compressão simples para 7 e 28 dias

Tabela A1 – Resistência à compressão simples traço TR0 para 7 e 28 dias.

Idade	CP	Área (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Tensão (MPa)
7	1	15737	24700	1,57
	2	15623	28800	1,84
	3	15603	29500	1,89
	4	15665	30700	1,96
Média		15657	28425	1,82
28	1	15664	34930	2,23
	2	15789	33500	2,12
	3	15562	36200	2,33
	4	15541	35700	2,30
Média		15639	35083	2,24

Fonte: o autor.

Tabela A2 - Resistência à compressão simples traço TR10 para 7 e 28 dias.

Idade	CP	Área (mm ²)	Carga de Ruptura (N)	Tensão (MPa)
7	1	15810	34200	2,16
	2	15727	30900	1,96
	3	15905	27900	1,75
	4	15707	34530	2,20
Média		15787	31882,5	2,02
28	6	15686	40500	2,58
	9	15727	38800	2,47
	10	15789	42000	2,66
	11	15748	38500	2,44
Média		15738	39950	2,54

Fonte: o autor.

Tabela A3 - Resistência à compressão simples traço TR20 para 7 e 28 dias.

Idade	CP	Área (mm²)	Carga de Ruptura (N)	Tensão (MPa)
7	1	15685	36200	2,31
	2	15945	31600	1,98
	3	15853	38700	2,44
	4	15768	31700	2,01
Média		15812,9	34550	2,19
28	1	15581	36600	2,35
	2	15725	36600	2,33
	3	15873	36200	2,28
	4	15914	36300	2,28
Média		15774	36425	2,31

Fonte: o autor.

Tabela A4 - Resistência à compressão simples traço TR30 para 7 e 28 dias.

Idade	CP	Área (mm²)	Carga de Ruptura (N)	Tensão (MPa)
7	1	15956	34200	2,14
	2	15746	28000	1,78
	3	16031	20400	1,27
	4	15893	32900	2,07
Média		15906	28875	1,82
28	1	15624	35300	2,26
	2	15851	34900	2,20
	3	15644	36700	2,35
	4	15686	37200	2,37
Média		15702	36025	2,29

Fonte: o autor.