

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARLON BRENON PORTELA CALDAS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA
CONFEÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS: um estudo de caso realizado nos
laboratórios “Solos e Pavimentação” e “Concreto” da Universidade Estadual
do Maranhão - UEMA**

São Luís - MA
2018

MARLON BRENON PORTELA CALDAS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA
CONFEÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS: um estudo de caso realizado nos
laboratórios “Solos e Pavimentação” e “Concreto” da Universidade Estadual
do Maranhão - UEMA**

Projeto de Monografia apresentado como requisito parcial para obtenção do grau bacharelado em Engenharia Civil, pela Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológica, *campus* de São Luís.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar

São Luís
2018

Caldas, Marlon Brenon Portela.

Viabilidade de uso de resíduos da construção civil na incorporação em tijolos ecológicos como agregado miúdo: um estudo de caso nos laboratórios “solos e pavimentação” e “concreto” da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA / Marlon Brenon Portela Caldas. – São Luís, 2018.

54 fls.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar.

1. Tijolo ecológico. 2. Sustentabilidade. 3. Resíduos de construção civil. I. Título.

CDU 666.712:628.4.043

MARLON BRENON PORTELA CALDAS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA
CONFEÇÃO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS: um estudo de caso realizado nos
laboratórios "Solos e Pavimentação" e "Concreto" da Universidade Estadual
do Maranhão - UEMA**

Projeto de Monografia apresentado como requisito parcial para obtenção do grau bacharelado em Engenharia Civil, pela Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológica, *campus* de São Luís.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar

Aprovado em: 25 / 06 / 2018

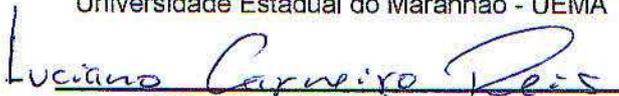
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Eduardo Aurélio Barros Aguiar
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



Prof. Msc. Clodóbaldo César M. Ferreira
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA



Prof. Esp. Luciano Carneiro Reis
Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

Dedico cada palavra deste trabalho à minha avó Inês, fonte maior da minha inspiração para a realização deste curso.

Eu prefiro ser essa metamorfose ambulante, do que ter aquela opinião formada sobre tudo.

Raul Seixas

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a todas as minhas mães que essa vida me deu. Inês, Iracélia, Izalete, Iane, Irisnande e Edileuza essas mulheres fortes e batalhadoras que sempre me serviram de espelho e são a minha base, agradeço muito por me ensinarem as coisas que realmente importam nessa vida.

Aos meus amigos de curso que foram para mim como uma família e por isso sempre vou leva-los comigo, sempre. Assim como um dia codorna me disse “As boas amizades nunca se acabam”.

Ao Professor, orientador Eduardo Aurélio por me guiar nessa fase final de curso mostrando os caminhos certos a seguir, por sua clareza e firmeza em sua tutoria. Sem ele este trabalho não seria possível.

Ao meu grande amigo Gabriel Sousa que me foi o indicador do referido tema e sempre me ajudou com seus conselhos e matérias.

Aos laboratoristas Gessiane, Wanderson e Jurandir por todo o apoio nos ensaios de laboratório que foram necessários para para esse trabalho.

Ao Sr. Marcos Folmer que mesmo com toda as suas ocupações se dispôs a me fornecer a material base para que esse trabalho fosse realizado.

A todos os professores do nosso curso de Engenharia Civil não só pelo conhecimento técnico compartilhado mais também pelo conhecimento de vida que nos foi apresentado por estes.

Ao Sr. Carlos por sempre se esforçar para proporcionar o melhor atendimento para com os alunos da UEMA em seu estabelecimento.

RESUMO

Tendo em vista a necessidade de reciclagem devido à preocupação ambiental com o depósito de resíduos sólidos na natureza, aliada ao crescente enfoque de escassez dos recursos naturais, este trabalho apresenta-se para se utilizar da versatilidade dos materiais de construção civil para estudar uma nova forma de se utilizar resíduos da construção civil. Nesse sentido, realizou-se diversos ensaios nos laboratórios da Universidade Estadual do Maranhão com o objetivo de se mostrar a viabilidade do uso de resíduos da construção civil, na confecção de tijolos ecológicos.

Palavras-chaves: Resíduos de Construção Civil. Tijolo Ecológico. Tijolo Solo-Cimento.

ABSTRACT

Considering the need for recycling due to the environmental concern with the deposit of solid residues in nature, coupled with the growing focus on scarcity of natural resources, this work is presented to use the versatility of building materials to study a new form of using construction waste. In this sense, several tests were carried out in the laboratories of the State University of Maranhão in order to show the viability of the use of construction waste in the manufacture of ecological bricks.

Keywords: Civil Construction Waste. Ecologic brick. Single-cement brick

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – classificação dos resíduos sólidos	18
Figura 2 – Economia na construção com tijolo ecológico	19
Figura 3 – Tijolo modular	20
Figura 4 - Aplicação da argamassa para assentamento	20
Figura 5 - Casa concluída em Cambuquira/MG	21
Figura 6 - Ferragens e canaletas – vigas e colunas / contraverga feito nas canaletas	21
Figura 7- Detalhe da parte elétrica embutida / detalhe da parte hidráulica embutida	22
Figura 8– Local de cólera dos resíduos brutos	26
Figura 9 –Amostra de solo seca ao ar livre	28
Figura 10 – Almofariz e Pistilo	28
Figura 11 – série de peneiras e balança de precisão	29
Figura 12 – Destorroamento do solo	29
Figura 13 – Solo destorroado medição da massa	30
Figura 14 – homogeneização da amostra	31
Figura 15 – Peneiramento por lavagem	32
Figura 16 – Série de peneiras	32
Figura 17 – Granulometria do solo sem os finos da lavagem	33
Figura 18 – Materiais para ensaios de determinação dos limites de consistência do solo	36
Figura 19 – Execução do ensaio de Limite de Liquidez	37
Figura 20 – Execução do ensaio de Limite de Plasticidade	39
Figura 21 – material ensaio pronto (soquete, cilindro metálico e régua de precisão)	41
Figura 22 – passo a passo do ensaio (homogeneização solo água)	42
Figura 23 - Compactação do solo no cilindro metálico com o soquete	43
Figura 24 - Regulação do material compactado no cilindro	43
Figura 25 – Dosagem de cimento conforme o solo utilizado	47
Figura 26 – Esquema do equipamento de compactação em miniatura	48
Figura 27 – Equipamento de compactação em miniatura	49
Figura 28 – composição dos traços propostos (1:10; 1:12 e 1:14)	50
Figura 29 – homogeneização do traço 1:10	50
Figura 30 – Corpos de prova nos moldes	51
Figura 31 – desmolde do corpo de prova	51
Figura 32 – corpos de prova desmoldados e separados de acordo com o traço (1:10; 1:12 e 1:14 da esquerda para a direita)	52
Figura 33 – Corpos de prova em processo de cura	53
Figura 34 – Máquina para ensaio de resistência à compressão encontrada no mercado	54
Figura 35 – Corpos de prova secando ao ar livre	55
Figura 36 – Sequência de capeamento dos corpos de prova	55
Figura 37 – Execução do ensaio de compressão	56
Figura 38 –Tijolo modular	57
Figura 39 – Corpos de na estufa e depois imersos em água	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Requisitos de escolha do solo para a confecção do tijolo solo-cimento	25
Tabela 2 Requisitos para a comercialização, conforme ABNT NBR 8491:1984)	26
Tabela 3 – Classificação dos grãos constituintes do solo (ABNT,1995)	27
Tabela 4 – Percentual de finos do solo utilizado	33
Tabela 5 – Análise granulométrica do solo utilizado	34
Tabela 6 – Classificação dos solos, em função dos índices de plasticidade	35
Tabela 7 – umidades coletadas de cada corpo de prova	44
Tabela 8 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo	44
Tabela 9 – umidades coletadas de cada corpo de prova	45
Tabela 10 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo no traço 1:14	45
Tabela 11 - umidades coletadas de cada corpo de prova	46
Tabela 12 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo no traço 1:10	46
Tabela 13 – Traços propostos para a pesquisa	48
Tabela 14 – classificação dos corpos de prova	52
Tabela 15 – Rastreamento dos corpos de prova conforme o ensaio	53
Tabela 16 – medições dos Corpos de prova	56
Tabela 17– Resultados do ensaio de resistência à compressão	57
Tabela 18 – Resultado do teste de absorção de água	59
Tabela 19 – Análise dos resultados de análise granulométrica do solo	59
Tabela 20 – Análise do resultado dos limites de consistência do solo	60
Tabela 21 – comparativo resistência média e resistência solicitada	60
Tabela 22 – comparativo Absorção de Água Obtida e Absorção de Água máxima	61
Tabela 23 – comparativo Absorção de Água Obtida e Absorção de Água máxima	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Limites de consistência do solo	34
Gráfico 2 – Relação entre Peso Específico e umidade	40
Gráfico 3 – Grau de compactação do solo	44
Gráfico 4 – grau de compactação do solo no traço 1:14	45
Gráfico 5 – Gráfico de compactação do solo no traço 1:10	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETO GERAL	15
1.1.1 Objetivos específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
2.2 TIJOLO SOLO-CIMENTO	18
3 METODOLOGIA	23
3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: um estudo de caso	24
3.1.1 Escolha do Solo	25
3.1.1.1 <i>Análise Granulométrica</i>	27
3.1.1.2 <i>Limites de Consistência</i>	34
3.2 ESCOLHA DA QUANTIDADE DE ÁGUA	39
3.2.1 Grau de Compactação	40
3.3 ESCOLHA DO TRAÇO DA MISTURA SOLO-CIMENTO	47
3.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	48
3.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	53
3.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA	57
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	59
4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	59
4.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA	59
4.3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	59
4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA	60
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS ACERCA DOS RESULTADOS OBTIDOS	62
5.1 PROPOSIÇÃO DE NOVOS TRABALHOS	62
REFERÊNCIAS	

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais estima-se que a população mundial está em torno de 7,6 bilhões de pessoas e a projeção da população até 2100 gira em torno de 11,2 bilhões, um elevado crescimento em um curto espaço de tempo (PELLETIER, 2017, p. 1). Levando em consideração tal crescimento populacional, bem como o fato de que a atividade industrial não para de crescer, estes fatores geram uma problematização para com a sociedade, de como o mundo estará no futuro e se este conseguirá suprir todas as necessidades humanas.

A partir da segunda metade do século XX a comunidade científica nacional e internacional começaram a debater sobre o uso dos recursos naturais e seus danos causados ao meio ambiente, possibilitando assim, criar maneiras para conciliar o desenvolvimento às garantias de gestão dos mesmos, levando à uma evolução que não tem mais volta. Como primogênito o Relatório do Clube de Roma: Limites do Crescimento (1968) mostrou ao mundo um cenário até então inexplorado, qual seja, o do possível futuro do planeta caso continue esse desenvolvimento desenfreado.

A partir daí surgiram novos relatórios com a finalidade de demonstrar a importância da preservação ambiental, como: Declaração de Estocolmo (1972), Relatório de Brundtland (1987), Protocolo de Montreal (1987), Rio – 92 ou ECO 92 que resultou na Agenda 21 (1992), COP 3 em Quioto, Japão(1997), COP 6 em Haia, Holanda (2000), COP 7 em Marrakech, Marrocos(2001), COP 8 em Nova Delhi, Índia (2002), COP 15 em Copenhague, Dinamarca (2010), COP 16 em Cancunm México(2010), COP 17 em Durban África do Sul (2011) e Rio +20 (2012).

De acordo com Globo Ciência (2014, p. 1) citando *Vahah Agopyan* da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, a construção civil é responsável pelo consumo de 40% a 75% da matéria prima produzida no planeta. Atualmente, o consumo de cimento é maior que o de alimentos e o de concreto só perde para o de água. Para cada ser humano, são produzidos 500 quilos de entulho, o que equivale a 3,5 milhões de toneladas por ano. Esses dados revelam que a construção civil é a indústria mais poluente do planeta.

A grande demanda de recursos naturais trouxe a preocupação com a saúde do meio ambiente e o desafio da criação de novas tecnologias para suprir nossas necessidades e reduzir os impactos na natureza. Desde então palavras como “Reduzir, reutilizar e reciclar” são tão almejadas.

O tijolo ecológico apresenta-se perante este cenário como uma alternativa ecológica no âmbito construtivo, porque a sua confecção visa a valorizar os materiais naturais.

O tijolo ecológico, também conhecido como tijolo solo-cimento, é constituído basicamente por agregado miúdo (solo) e cimento, e à esta mistura adiciona-se água em torno de 8% a 15%.

Vale ressaltar que independentemente do local, tamanho e tipo de obra. O tijolo mostra-se como matéria-prima básica de construção.

De acordo com ICESP (2015, 1), citando CEPED, a construção civil mostra-se preocupada para com sua responsabilidade socioambiental dada a presente necessidade de se implementar e difundir novos métodos que sejam mais sustentáveis no campo construtivo, para que a mesma consiga reduzir seus impactos causados ao meio ambiente, tendo em vista essa necessidade imediata de métodos sustentáveis, o tijolo ecológico que é feito a partir da junção de solo, cimento e água poderia ser uma opção muito viável pelo fato de apresentar redução de danos no meio ambiente, além de apresentar redução dos custos e prazos de uma construção

Assim como telhas, pilares, vigas ou qualquer outro componente construtivo, o tijolo deve prover praticidade, segurança e que este consiga atender à demanda. Visto isso, antes de mais nada, deve-se conferir se este consegue atender aos requisitos estabelecidos nos ensaios de absorção de água e de resistência a compressão que são abordados pelas normas ABNT NBR 8491 (1984) e ABNT NBR-8492 (1982).

Como visto, a construção civil tem gerado grande quantidade de resíduos em seu processo construtivo. O emprego viável de novas tecnologias, a busca por soluções construtivas, a carência habitacional, a reciclagem dos materiais, a redução do desperdício, o desenvolvimento de forma sustentável é de grande importância para a preservação ambiental.

Na verdade, conforme ICESP (2015, p. 2), referindo-se a RUSTON, todos estes são obstáculos a serem encarados e superados por engenheiros, como também pela própria sociedade. Com a busca por uma forma de solução do problema gerado pelos resíduos, esta pesquisa mostra-se pertinente visto o potencial benefício da utilização da prática de construção do tijolo ecológico juntamente com possibilidade de se poder fazer a incorporação de resíduos podendo assim, se reutilizar recursos que antes seriam ditos como entulho que após seu reaproveitamento pode tornar-se parte importante da composição do tijolo ecológico.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem por objetivo principal avaliar a viabilidade da utilização de resíduos de concreto na confecção de tijolos do tipo solo-cimento.

1.1.1 Objetivos específicos

- Submeter os materiais envolvidos à análise de laboratório para descobrir sua granulometria e seus índices físicos: limite de liquidez, limite de plasticidade e índice de plasticidade;
- Descobrir qual o teor de água para que se tenha a melhor compactação do solo-cimento
- Confecção de corpos de prova com resíduos de construção civil e cimento em diferentes tipos de traços de solo e cimento;
- Submeter os corpos de prova a testes de laboratório para verificar a resistência após a cura de 7 dias;
- Submeter os corpos de prova a um período de imersão em água a fim de se averiguar sua absorção de água.
- Analisar os resultados obtidos para estudar a viabilidade de utilização de resíduos de concreto no tijolo do tipo solo-cimento.

1.2 JUSTIFICATIVA

O crescimento exagerado das cidades tem criado um sério problema para o meio ambiente. Toda obra seja de pequeno, médio ou grande porte é geradora de entulhos da construção civil que muitas das vezes acabam tendo uma destinação inadequada ao passo que grande parte deste material tem potencial de reaproveitamento. Por isso a reciclagem de resíduos da construção civil é uma alternativa sustentável que gera economia, proteção ambiental e desenvolvimento social.

Segundo Cincotto (1988), o emprego de resíduos na construção civil pode se tornar uma atividade de extrema importância e mais frequente, dada a diversidade e quantidade disponível como também as suas possíveis potencialidades. Visto isso, pode-se imaginar novas formas de se aproveitar determinados resíduos na construção

civil, uma vez que além da redução dos danos ambientais pode-se também observar vantagens técnicas e de redução de custos em alguns casos.

Em questão de custos, em consonância com ICESP (2015, p. 1), citando Ruston, o tijolo solo-cimento apresenta-se em desvantagem se comparado com o tijolo de alvenaria convencional chegando a custar o dobro, mas o comparativo de produção de um para um não mostra a realidade de custos totais da obra visto que tem que se considerar o custo da estrutura e do acabamento. Uma parede de tijolos convencionais ainda vai precisar receber chapisco, reboco, emboço, selador e pintura, além de considerar o custo bruto dos materiais e importante frisar que a mão de obra corresponde a quase metade do valor da obra. Dado o levantamento da parede com a utilização de tijolos modulares esta não há a necessidade de acabamento (só se o cliente quiser), e a estrutura de vigas e pilares já ficam prontas como também há uma facilidade para se fazer as instalações hidráulicas e elétricas

Uma de suas vantagens para com sua forma modular é que estes tijolos apresentam uma ajuda nas solicitações estruturais conseguindo receber cargas reduzindo assim, o uso de concreto e de ferragens nos pilares de vigas

Dada a disparidade de custo unitário da produção do tijolo modular e do tijolo de alvenaria convencional, esta se torna compensada com folga pelos fatores citados a cima.

“Todas essas características tornam o processo construtivo mais econômico, em especial com a redução significativa de materiais caros como o cimento, areia, brita madeira, ferragens, mão de obra e tempo de construção” (CEPED, 1999, APUD ICESP, 2015, p. 3).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RECICLAGEM DE RESIDUOS SOLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Souza et al. (2015, p. 1) a construção civil é um setor importante para o desenvolvimento econômico e social do país, com destaque para a quantidade de atividades que intervêm em seu ciclo de produção, gerando consumo de bens e serviços de outros setores, além de absorver grande parte de mão-de-obra não especializada.

Segundo Souza e Segantini (2006, p. 4) a ideia de aproveitar os resíduos de concreto na composição do solo para a confecção do tijolo solo-cimento surgiu em razão de se constatar que após a britagem do material este apresentava-se com características de solos arenosos e que os solos arenosos são os mais indicados para a obtenção do tijolo solo-cimento. E foi exatamente isso o que se buscou com a incorporação dos resíduos de concreto, pois se trata de um material granular, cujas características granulométricas, após a britagem, assemelham-se às de uma área grossa.

De conformidade com Faria (2018, p. 1) deve-se entender por resíduos sólidos todos os restos sólidos oriundos das atividades humanas, ou não, que podem virar insumos para outras atividades, a exemplo dos provenientes de construções demolidas.

As soluções tecnológicas para a reciclagem de resíduos sólidos da construção civil variam em função do tipo de resíduo que vai ser tratado definidos pela Resolução 307/2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que em seus arts. 3º e 10º abordam a classificação e destinação, respectivamente

I - Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras; II - Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução nº 469/2015). III - Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução nº 431/11). IV - Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução nº 348/04). (Art.3º).

Art. 10. Os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas: I - Classe A: I - Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros; (nova redação dada pela Resolução 448/12); II - Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura; III - Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. IV - Classe D: Classe D: deverão ser

armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (nova redação dada pela Resolução 448/12)

Figura 1 – classificação dos resíduos sólidos



Fonte: Frank e sustentabilidade, 2017. <https://engenhafrankweb.wordpress.com/2017/06/07/diretrizes-para-generenciamento-de-residuos-da-construcao/>

Com a coleta seletiva dos resíduos de classificação classe A pelo CONAMA é feito um processo de trituração. Nessa etapa, os materiais se encontram misturados tendo pouco valor agregado. Só após o processo de separação por granulometria, ou seja, a desagregação do material em frações é que se pode dar um caminho adequado para cada material de acordo com o seu tamanho que serão classificados como areia, brita, pedrisco e outros a partir disso que poderão ser comercializados como matéria secundária que poderá servir para a fabricação de produtos para a construção civil como tijolos, blocos de cimento, britas dentre outros.

2.2 TIJOLO SOLO-CIMENTO

Para Silva, Santos e Savaris (2018, p. 4) a fabricação do tijolo sólido-cimento, ou tijolo ecológico, tem início pela escolha do solo, que deve passar pela etapa de peneiração, pois o solo pode apresentar resíduos minerais e inorgânicos, como galhos, madeiras, pedras e plásticos.

O tijolo ecológico, diferentemente do tijolo convencional, dispensa o processo de queima vegetal para sua forja, colocando-o em grande vantagem, colaborando com

a preservação do meio ambiente e seu respectivo equilíbrio, visto que não há necessidade de cortar árvores, evitando, desse modo, a emissão de gases poluentes.

Outro aspecto importante é o quesito de forma geométrica com que o tijolo modular é produzido, pois com o *design* de encaixe das peças é possível se reduzir o uso de argamassa entre os tijolos, como também o tempo de construção, com isso é possível reduzir o custo da obra como indica Shimamura (2010, p. 1) que uma construção pode ter uma economia de 40% do custo total da obra com o uso da tecnologia de tijolos modulares como está representado na figura:

Outra grande vantagem de optar pelo tijolo ecológico é a economia no valor final da obra. Calcula-se que a redução se encontra entre 35% e 45 dos gastos se comparada a uma casa feita de alvenaria convencional.

Figura 2 – Economia na construção com tijolo ecológico



Fonte: www.vimaqpressas.com.br (2013).

Vale repetir algumas das vantagens de se utilizar o tijolo ecológico estão expressas a seguir:

- Não se utiliza queima vegetal para sua confecção, diferentemente do tijolo de alvenaria convencional que é cosido em fornos comumente conhecidos como “caieiras”, evitando assim a destruição da fauna e da flora provenientes do desmatamento e em consequência a emissão de gases nocivos na atmosfera.

Pode-se dizer que, em média, para se produzir um milheiro de tijolo de alvenaria convencional são derrubadas de 8 a 12 árvores de médio porte. (GRUPO ECO, 2018,

p. 1). Vale ressaltar que em muitos casos essa extração de madeira é feita de maneira que apresenta diversos problemas, como o uso de trabalhadores sem carteira assinada e em muitos casos em condições desumanas, a extração e transporte acontecem de maneira irregular infringindo assim normas de cunho trabalhista, ambiental e de trânsito.

- Utiliza-se de solos provenientes do local caso se enquadre nas ABNT NBR 8491 (1984) e ABNT NBR-8492 (1982), diferentemente do tijolo convencional que se utiliza principalmente de materiais argilosos provenientes da extração de mananciais muita das vezes provocando a erosão do solo e em alguns casos mais graves provocar a destruição de aquíferos.

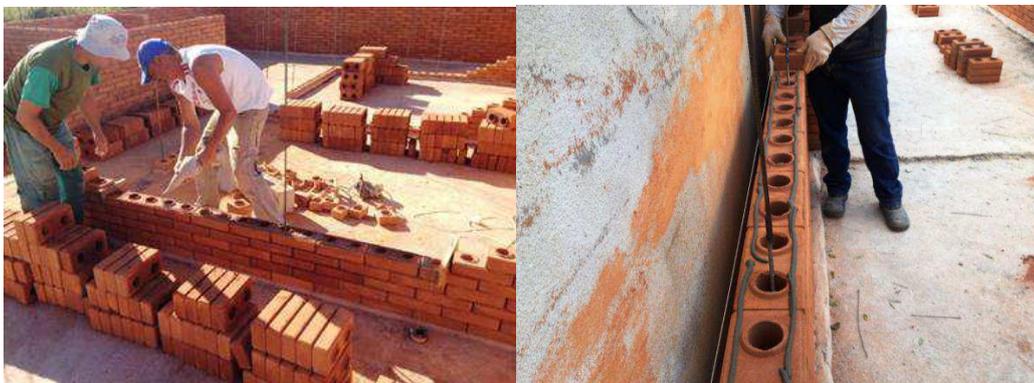
- A forma de encaixe das peças que gera uma economia da matéria a ser utilizado para a estabilização entre peças além de contribuir um pouco com a função estrutural.

Figura 3 – Tijolo modular



Fonte: CERBISORIANI, 2017

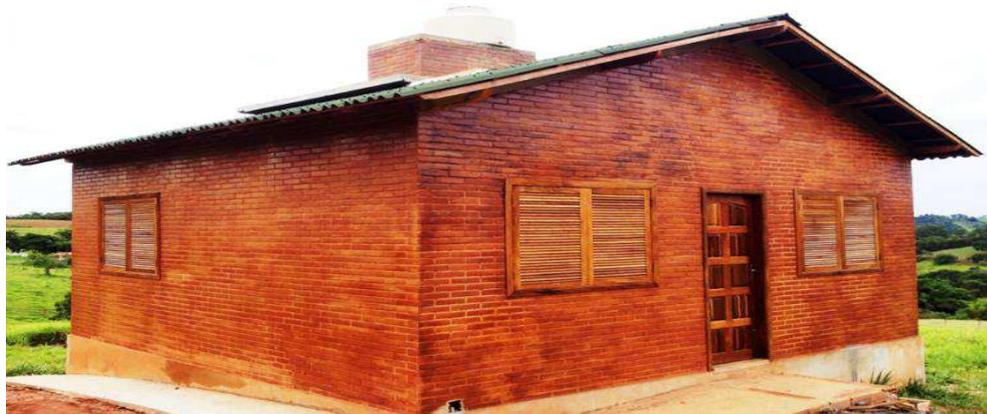
Figura 4 - Aplicação da argamassa para assentamento



Fonte: Trindade Tijolos Ecológicos. <http://www.tijolosecologicostrindade.com.br/construcao-com-tijolos-ecologicos/>

- Pode ser utilizado o próprio tijolo ecológico sem a necessidade de acabamentos com o uso de reboco nas paredes, pois o aspecto final da construção fica bastante elegante e significativo visual.

Figura 5 - Casa concluída em Cambuquira/MG



Fonte: Trindade Tijolos Ecológicos. <http://www.tijolosecologicostrindade.com.br/construcao-com-tijolos-ecologicos/>

- Dispensa o uso de madeiras que seriam usadas para formas de pilares, vigas e soleiras pois estes são feitos dentro do próprio tijolo.

Figura 6 - Ferragens e canaletas – vigas e colunas / contraverga feito nas canaletas



Fonte: Trindade Tijolos Ecológicos. <http://www.tijolosecologicostrindade.com.br/construcao-com-tijolos-ecologicos/>

- Toda a instalação da parte elétrica e hidráulica é feita pelos orifícios do tijolo.

Figura 7- Detalhe da parte elétrica embutida / detalhe da parte hidráulica embutida



Fonte: Trindade Tijolos Ecológicos. <http://www.tijolosecologicostrindade.com.br/construcao-com-tijolos-ecologicos/>

- O tijolo apresenta furos em seu interior criando bolsões de ar que servem de isolamento térmico e acústico

-Apresenta maior resistência mecânica

-Tem-se uma maior uniformidade de fabricação das peças, visco que a uniformidade das pesas é de suma importância dado a tecnologia de encaixe das peças.

- Apresenta uma redução de custo da obra.

Algumas desvantagens para o uso do tijolo ecológico:

- O tijolo solo-cimento tem como característica negativa a sua falta de estudo sobre ele, muito disso atribui-se por ser uma tecnologia nova e que ainda tem um longo caminho pela frente para se difundir no meio construtivo.

Como diz ICESP (2015), citando Paiva "As pessoas desconfiam do que é novo. É preciso explicar e comprovar a funcionalidade do tijolo ecológico. Depois que elas entenderem que pagarão mais caros pelo tijolo, mas terão benefícios superiores ao custo no final da obra, a confiança é conquistada".

- O método construtivo que se aplica para esse tijolo que ainda é pouco difundido e apresenta peculiaridades se comparado com o método construtivo do tijolo de alvenaria convencional.

- A falta de mão de obra qualificada para a execução dos serviços construtivos e de produção do tijolo.

- Não pode ser fabricado em locais que apresentem muita umidade

- O solo pode apresentar muitas variações em sua composição dependendo do local de extração.

- O processo de prensagem de substâncias deletérias para o processo de cimentação como cloretos, húmus e sulfatos podem inviabilizar a aplicação do solo em questão.

- A composição do tijolo está sujeita a constante análise laboratorial para que se mantenha a constâncias das peças.

Passa-se a seguir a discorrer sobre os ensaios laboratoriais no que tange a diversos aspectos sobre o tijolo ecológico.

3 METODOLOGIA

Para construção do presente estudo foram utilizadas as pesquisas bibliográfica e exploratória, como também um estudo de caso nos laboratórios "Solos e Pavimentação" e "Concreto" da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

A metodologia de pesquisa é baseada nas seguintes etapas:

- Pesquisa com base informativa em artigos, monografias, livros e normas sobre o âmbito da sustentabilidade ambiental voltadas para o setor da construção civil com enfoque no uso de resíduos da construção civil para a confecção de tijolos ecológicos;
- Seleção de amostras envolvidas nessa pesquisa que são: cimento e resíduos da construção civil;
- Ensaios granulométricos e de caracterização em laboratório das amostras;
- Obtenção de um traço que proporcione a produção de tijolos atendendo a norma;
- Apresentação da pesquisa para a conclusão de curso de graduação.

3.1 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA: um estudo de caso

Para a confecção dessa pesquisa dados precisarão ser obtidos através de experimentos laboratoriais que serão fundamentados por normas, conforme será visto em espaço temático apropriado.

Este trabalho tem como limitante o estudo da viabilidade do uso de resíduos da construção civil na incorporação em tijolos de solo-cimento como agregado miúdo.

Esse trabalho foi produzido mediante metodologia exploratória que teve como base nos ensaios de laboratório realizados nos laboratórios de Solos e Pavimentação e de Concreto da Universidade Estadual do Maranhão- UEMA, contou também com o auxílio da SEJAP - Secretaria da Justiça e da Administração Penitenciária para com o fornecimento da material base para o desenvolvimento deste trabalho.

Etapa 1

Nessa etapa fez-se todo o embasamento teórico advindo de levantamento bibliográfico através de: teses, NORMAS, dissertações de mestrado, artigos e sites.

Etapa 2

Coube a essa etapa a aquisição dos devidos materiais para que se fosse feita a pesquisa como: cimento e resíduos de construções civil.

Etapa 3

Essa etapa ficou responsável pela aplicação dos testes e ensaios laboratoriais seguindo idoneamente as normas ou os métodos de ensaios pressupostos por norma para assim se obter os resultados.

Etapa 4

Essa etapa ficou responsável pela análise dos resultados advindo da etapa 3.

3.1.1 Escolha do Solo

Os materiais da composição do tijolo deverão seguir a norma da NBR 10.833:1989, pois estabelece que 100% do solo deve passar na peneira de abertura 4,8 mm, de 10 a 50% e na peneira de abertura 0,075 mm, seu índice de plasticidade deve ser menor ou igual a 18% e seu limite de liquidez deve ser igual ou menor a 45%, conforme demonstrado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 Requisitos de escolha do solo para a confecção do tijolo solo-cimento

Característica	Requisito
% de solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm (n.º 4)	100
% de solo que passa na peneira ABNT 0,075 mm (n.º 200)	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Índice de plasticidade	≤ 18

Fonte: do Autor, 2018.

Parâmetros aceitáveis

Para a ABNT NBR 8491:1984, os tijolos só poderão ser comercializados se obterem algumas metas impostas tais como: apresentar resistência a compressão média de 2 Mpa (20 kgf/cm²) sendo que o menor valor individual não pode ser menor que 1,7 Mpa (17 kgf/cm²) e ter um índice de absorção de água média de inferior a 20% sendo que o valor do índice de absorção de água individual tem de ser inferior a 22%. Assim como está resumido a Tabela 2.

Tabela 2 Requisitos para a comercialização, conforme ABNT NBR 8491:1984)

Característica	Requisito
resistência à compressão	> 2 Mpa
absorção de água	< 20%

Fonte: do autor. 2018.

Coleta de material e ensaio laboratorial da construção do tijolo solo-cimento

O recebimento do material que será utilizado como solo para esse trabalho (o resíduo de construção civil) ocorreu mediante o auxílio da SEJAP - Secretaria da Justiça e da Administração Penitenciária juntamente com a ajuda do Sr. Marcos Folmer que é o gestor da fábrica de blocos do Complexo Penitenciário de Pedrinhas situada no 14 km da BR-135, na Cidade de São Luís, Maranhão. Lá é desenvolvido a confecção de tijolos ecológicos com o uso de resíduos de construção civil advindos da demolição de parte do complexo.

Figura 8 – Local de cólera dos resíduos brutos



Fonte: do Autor, 2018.

Segundo a Norma ABNT NBR 10833:2012 qualquer solo natural pode ser usado na mistura solo-cimento na fabricação de tijolos, contanto que atenda aos seus pré-requisitos, anteriormente citados neste trabalho.

Para se fazer o estudo do enquadramento do solo nos pré-requisitos da NBR 10833:1989 utilizou-se as seguintes normas como embasamento: Norma de solos DNER-ME 041/94, que aborda a preparação de amostras de solo para a sua caracterização posteriormente, a Norma DNER-ME 080/94, que aborda a metodologia aplicada a análise granulométrica de caracterização do solo por peneiramento e nas Normas DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, que abordam a parte de limites de consistência do solo.

3.1.1.1 Análise Granulométrica

De acordo com Neves et al. (2009) o solo é constituído por várias partículas de diferentes tamanhos, partículas estas que podem ser ordenadas por faixas de dimensões que apresentando características próprias para cada faixa de enquadramento.

A norma NBR 6502 (ABNT, 1995), delimita os limitantes das faixas de dimensões das partículas do solo tal qual exposto no quadro a seguir:

Tabela 3 – Classificação dos grãos constituintes do solo (ABNT, 1995)

Dimensão dos grãos d (mm)	Classificação das partículas
$2 \leq d \leq 20$	pedregulho
$0,06 \leq d < 2$	areia
$0,002 \leq d < 0,06$	silte
$d < 0,002$	argila

Fonte: do Autor, 2018.

Para dar início a análise de granulometria do solo, primeiramente faz-se a secagem da amostra de solo ao ar livre por um período de 24 horas.

Figura 9 –Amostra de solo seca ao ar livre



Fonte: do Autor, 2018.

Após este período de secagem do material, faz-se a seleção dos materiais necessários para a análise granulométrica do solo que são

Figura 10 – Almofariz e Pistilo



Fonte: do Autor, 2018.

Figura 11 – série de peneiras e balança de precisão



Fonte: do Autor, 2018.

Após a secagem do solo, é feito o processo de destorroamento. Uma parte solo bruta é colocado no almofariz e prensado com pistilo afim de reduzir os tamanhos das partículas com a quebra dos torrões.

Figura 12 – Destorroamento do solo



Fonte: do Autor, 2018.

Após o destorroamento das parcelas de solo que será feito o ensaio de granulometria, todas as parcelas (já destorroadas) são colocadas num reservatória para a aferição da massa tendo o cuidado de tirar a tara do recipiente previamente.

Figura 13 – Solo destorroadado medição da massa



Fonte: do Autor, 2018

Após o solo ser destorroadado e pesado, este tem que ser homogeneizado, visto que o processo de destorroamento é feito em etapas separadas. Para o processo de homogeneização utiliza-se um separador de amostras ou o método de quarteamento. Utilizou-se então o separador de amostras. A homogeneização é dada ao despejar a amostra no separador para que ele misture as partículas de solo de modo que ao retirar uma fração de amostra isolada garante-se que esta terá as mesmas características de qualquer outro.

Figura 14 – homogeneização da amostra



Fonte: do Autor, 2018.

Só após os processos de secagem, destorroamento, pesagem e homogeneização, pode-se dar início à sua análise de granulometria. Visualmente ele atende a primeira característica da norma NBR 10.833:1989 que é passar 100% na peneira de abertura 4,8mm.

Para investigar o segundo critério da norma NBR 10.833:1989, utilizou-se o processo de peneiramento por lavagem da amostra pelo fato de que as partículas que passam na peneira n.º 200 (em sua maioria silte e argila), costumam ficar grudadas em partículas maiores que não passam na peneira. O que compromete a resultado do ensaio. A técnica consiste em secar uma parte da amostra na estufa com temperatura entre 105 °C e 110 °C por um período de 24 horas para que com isso a água evapore, após a passagem da amostra na peneira com abertura de 0,075 mm, leva-se a peneira juntamente com o material retido nela para que se faça a lavagem com água para que as partículas menores se desprendam das maiores para por fim retornar as partículas retidas para um recipiente e poder averiguar a porcentagem de material retido para se saber a porcentagem de material passante.

Figura 15 – Peneiramento por lavagem



Fonte: do Autor, 2018.

A quantidade de total de solo da amostra utilizada foi de 1500g; após a eliminação de todas as partículas passantes na peneira de 0,075mm pela lavagem, coloca-se as partículas restantes para secar em estufa nas condições já citadas anteriormente.

Dando continuidade ao experimento, após o destorroamento da amostra retida, é realizado o peneiramento com o uso das peneiras 2,0 – 1,18 – 0,60 – 0,425 – 0,30 – 0,15 e 0,075 mm para se dar o levantamento granulométrico.

Figura 16 – Série de peneiras



Fonte: do Autor, 2018.

O resultado do peneiramento foi acrescentado ao do peneiramento por lavagem e obteve-se que a quantidade de solo da amostra em que passa na peneira de 0,075 mm por lavagem que representou 148,3g, mais a quantidade de material passante na peneira 0,075 mm após a secagem e peneiramento que representou 9,8g. somando os valores de material passante na peneira 0,075 mm obtém-se um valor de 158,1 que representa 10,54%.

Tabela 4 – Percentual de finos do solo utilizado

Amostra	Massa (g)	%
Total	1500	100
Retida na peneira n.º 200	1341,9	89,46
Passante na peneira n.º 200	158,1	10,54

Fonte: do Autor, 2018.

Nota-se, então, que o solo está de acordo também com o previsto pela NBR 10833:1989.

Figura 17 – Granulometria do solo sem os finos da lavagem



Fonte: do Autor, 2018.

O resultado da análise apresenta-se de forma resumida na tabela a seguir:

Tabela 5 – Análise granulométrica do solo utilizado

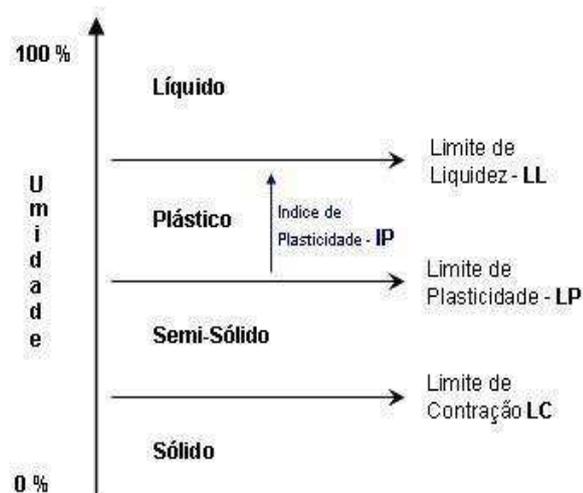
Peneira(abertura em mm)	Massa retida (g)	% que passa
2	276,6	81,56
1,18	238,3	65,67333333
0,6	300	45,67333333
0,425	191,7	32,89333333
0,3	116,7	25,11333333
0,15	137,8	15,92666667
0,075	80,8	10,54

Fonte: do Autor, 2018.

3.1.1.2 Limites de Consistência

Outro elemento de grande importância para o solo a ser utilizado no tijolo solo cimento é sua plasticidade segundo o seu grau de umidade. Com a variação de umidade o solo pode se comportar de diferentes maneiras plásticas podendo atuar de forma líquida, plástica, semissólida ou sólida.

Gráfico 1 Limites de consistência do solo



Fonte: SANTANA, 2015

A plasticidade do solo e os limites de consistência são determinados através de dois ensaios: limite de liquidez e limite de plasticidade. Os ensaios de plasticidade são realizados somente com a parte fina do solo, representada pelo material que passa na peneira de abertura 0,42 mm. O limite de liquidez (LL) é o grau de umidade determinado pelo aparelho de Casagrande. Ele é constituído por uma concha metálica unida a uma manivela, que a move,

fazendo-a cair sobre uma base sólida, um certo número de vezes, até o fechamento de 1 cm da ranhura padrão, feita previamente no solo colocado na concha. (DALAROSA, 2014, p. 1).

Acrescenta o autor que o limite de liquidez corresponde ao teor de umidade em que a ranhura se fecha com 25 golpes. O limite de plasticidade (LP) é o grau de umidade necessário e suficiente para deslizar uma porção de solo umedecido sobre uma placa de vidro, até formar um pequeno cordão com 3 mm de diâmetro e 12 a 15 cm de comprimento. A diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade determina o índice de plasticidade ($IP = LL - LP$). Os limites de liquidez e de plasticidade dependem, geralmente, da quantidade e do tipo de argila presente no solo. O índice de plasticidade, entretanto, é unicamente dependente da quantidade de argila. Na prática, se pode caracterizar o solo por seu índice de plasticidade e seu limite de liquidez. (DALAROSA, 2014, p. 1).

Tabela 6 – Classificação dos solos, em função dos índices de plasticidade (CRATERRE, 1979)

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

Fonte: do Autor, 2018.

Aplicação

O próximo passo é averiguar se o solo se enquadra na NBR 10833:1989 como expresso na tabela 1 no quesito limite de liquidez e índice de plasticidade.

Para a execução dos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade são necessários os materiais apontados pelas normas DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94 que são: espátula, placa de vidro com superfície esmerilhada, cilindro de comparação com 10 cm de comprimento e 3 mm de diâmetro, capsulas de armazenamento, aparelho de Casagrande, cinzel além de balança de precisão e estufa.

Figura 18 – Materiais para ensaios de determinação dos limites de consistência do solo



Fonte: do Autor, 2018.

Separa-se previamente 200g de parte da amostra de solo que passa na peneira de abertura 0,425 mm.

Limite de Liquidez

Primeiramente optou-se por realizar o ensaio de Limite de Liquidez que tem como base de fundamentação a norma DNER – ME 122/94 ao estabelecer que este experimento baseia-se em aprontar uma amostra homogenia com solo e água destilada a ponto de atingir uma consistência pastosa que seja capaz de ocupar dois terços da concha do aparelho de Casagrande, após a disposição da amostra na concha deve-se conferir a espessura com um cinzel padronizado antes de se fazer uma canaleta que divide a amostra em duas partes iguais separadas por 1 cm para que golpes sejam aplicados na parte inferior da concha até que se tenha o contato das partes que foram separadas anteriormente quando há o contato das duas partes, interrompe-se o experimento e anota-se o número de golpes. Uma amostra de solo então é retirada da concha para ser pesado e levado a estufa com o intuito de aferir sua humidade. O experimento é repetido por pelo menos mais 4 vezes com diferentes acréscimos de água.

Com a realização dos ensaios pode se obter valores de umidade e número de golpes relacionados que após a realização de 5 ensaios, é possível fazer um gráfico que relacione umidade e número de golpes, com o intuito de se fazer a projeção da umidade para 25 golpes.

Figura 19 – Execução do ensaio de Limite de Liquidez



Fonte: do Autor, 2018.

Com o início da realização do ensaio notou-se que este material é muito arenoso e quase isento de partículas de argila, visto que com todas as variações de umidade testadas no experimento este tinha o contido das duas partes de solo logo após o primeiro ou segundo golpe, não atingindo assim os 25 golpes necessários para saber a umidade que separa o estado em que ele se comporta como líquido para o estado que o mesmo se comporta como plástico. A partir desse preceito pode-se afirmar que ele é um solo arenoso não plástico e que seu LL está entre 0-30% como demonstrado no quadro (quadro pagina 12/13). Sendo assim, ele atende a norma NBR 10833:1989 pelo fato de seu limite de liquidez ser inferior aos 45%.

Limite de Plasticidade

Logo após o ensaio de limite de liquidez ter sido executado, deu-se início ao ensaio de limite de plasticidade tendo como embasamento teórico a norma DNER-ME 082/94.

Este ensaio consiste em tomar-se uma parcela de amostra do solo preparada e formar uma pequena bola, que deve ser rolada sobre a placa de vidro, “à medida que se rola a amostra de solo na placa de vidro esmerilhado ela vai perdendo humidade e vai passando do estado plástico para o não plástico”, com pressão suficiente da palma da mão dando-lhe forma cilíndrica até atingir um diâmetro de 3mm, “pode-se usar um bocal de caneca como gabarito”, caso a amostra rompa antes de atingir a forma aproximada do bocal de caneta acrescenta-se mais água e repete o procedimento. Caso o material consiga chegar a forma cilíndrica desejada junta-se o material e retoma a condição inicial de pequena bola para que se realize novamente o procedimento até que este que este material perca humidade suficiente para chegar na faixa de não plasticidade e rompa antes que se consiga o formato cilíndrico “de bocal de caneta” desejado.

Após conseguir de forma consecutiva atingir a forma cilíndrica desejada e depois obter uma fragmentação, recolhe-se o material e imediatamente pesa-se a massa da amostra para que esta siga posteriormente para a estufa a fim de averiguar sua humidade naquele momento de ruptura.

Repetir o procedimento por mais duas vezes, com o objetivo de se obter 3 humidades e considerar os valores de humidade obtidos no experimento como satisfatórios quando, de pelo menos três, nenhum deles variar da respectiva média de mais de 5% dessa média.

Figura 20 – Execução do ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: do Autor, 2018.

Com o início do experimento já se notava que esse material arenoso não conseguiria atingir a forma cilíndrica desejada. Mesmo com todos os testes nas mais variadas proporções solo/água este não conseguia atingir a forma cilíndrica e esfarelava muito antes. Comportando-se como semissólido ou um sólido propriamente dito.

Índice de plasticidade

O índice de plasticidade mede a faixa de umidade em que o solo se comporta de forma plástica e é obtido através da diferença entre o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Pelo fato de saber que esse solo não é plástico empiricamente pode-se afirmar que seu índice de plasticidade é inferior a 18%, satisfazendo assim a norma NBR 10833:1989.

3.2 ESCOLHA DA QUANTIDADE DE ÁGUA

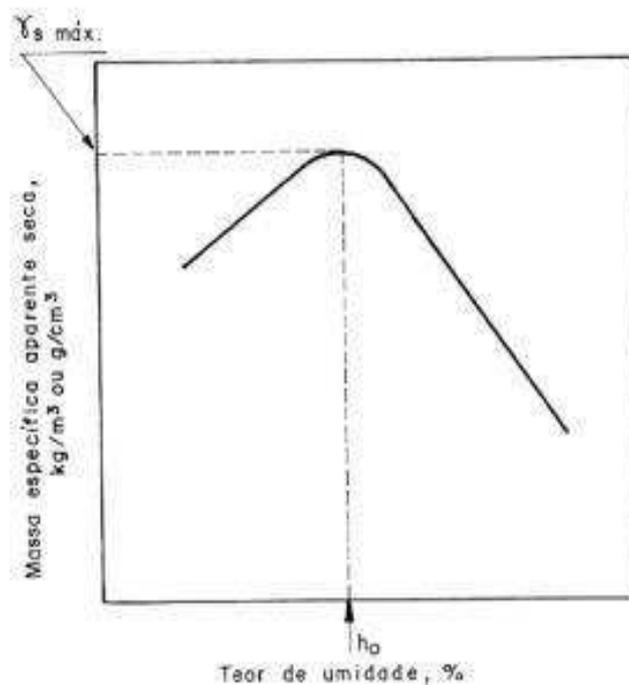
Após o estudo da viabilidade do solo que será constituinte do tijolo solo cimento para com a norma NBR 10833:1989, deu-se início ao estudo de como a água iria interferir em sua compactação com os ensaios de compactação.

3.2.1 Grau de Compactação

Segundo Caputo (1996) o processo de compactação do solo, mecânico ou manual tem como objetivo principal a redução dos espaços vazios tornando-o mais compacto para que este consiga melhorar suas características quanto à resistência como também nos aspectos: compressibilidade, permeabilidade e absorção de água. Entende-se que com a diminuição dos espaços vazios há um aumento no peso específico do solo advindos da compactação que depende basicamente de dois requisitos: da energia de compactação aplicada e do teor de umidade do solo.

O autor discorre também que com a realização da compactação de um solo para diferentes proporções de umidade e uma energia de compactação que se mantenha constante é possível se fazer o estudo de como a variação de umidade pode afetar o peso específico do solo. Na prática pode-se relacionar peso específico em função da umidade para traçar uma curva representando a umidade de compactação, esta curva nos fornece graficamente a umidade ótima de compactação que é representada pelo ponto mais elevado que a curva consegue atingir. (CAPUTO, 1996).

Gráfico 2 – Relação entre Peso Específico e umidade



De modo geral, de acordo com a NBR 12023/1992, da ABNT, pode-se dizer que ensaio de compactação determina a umidade ótima e o peso específico máximo de um solo, consistindo em compactar uma amostra de solo dentro de um molde cilíndrico com volumes pré-definidos em camadas sucessivas sob a ação de 26 golpes de um soquete, com peso e alturas pré-determinadas.

Este ensaio tem como objetivo relacionar a umidade do solo com sua massa específica seca para, assim, poder estimar a umidade em que se terá a maior massa específica seca possível visto que com a maior massa específica seca do solo este solo se apresenta de uma forma mais compacta eliminando assim os vazios o que lhe permite ter uma melhor qualidade mecânica aumentando sua resistência.

Aplicação

Para dar início ao trabalho mede-se as dimensões do molde cilíndrico metálico onde serão feitos os corpos de prova, estima-se a quantidade de material necessária para a confecção de 5 corpos de prova. Destorra todo o solo que vai ser utilizado no ensaio. Acrescenta-se cerca de 5% de umidade abaixo da umidade ótima (que gira em torno de 8 à 15 % geralmente) faz-se o aumento gradativo das humidades nos seguintes ensaios até que este ultrapasse a umidade ótima de compactação passa assim poder plotar o gráfico e estimar de forma mais precisa o ponto de máxima umidade de compactação.

Figura 21 – material ensaio pronto (soquete, cilindro metálico e régua de precisão)



Fonte: do Autor, 2018.

Coloca-se aproximadamente um terço do volume de amostra no cilíndrico metálico e aplica-se uma sequência de 26 golpes com um soquete com peso e altura padronizados. Após compactar esse primeiro terço, acrescenta-se mais um terço, depois mais um terço, completando, assim, o processo. Após todo o cilindro metálico estar preenchido de solo é feita a pesagem do corpo de prova e então é retirada uma pequena fração do material para que se calcule a umidade. Repete-se os experimentos por mais quatro vezes com o único diferencial que é o acréscimo gradativo de água na amostra de solo.

Primeiramente, fez-se o ensaio apenas com o solo, para se ter uma noção aproximada de como seria a umidade ótima de compactação do solo para posteriormente de forma análoga repetir os mesmos passos do experimento com apenas a alteração das dosagens de solo e cimento para se fazer o mesmo estudo para com os traços de solo cimento sugeridos pela ABCP (1988) que são: 1:10, 1:12 e 1:14

Figura 22 – passo a passo do ensaio (homogeneização solo água)



Fonte: do Autor, 2018.

Figura 23 - Compactação do solo no cilindro metálico com o soquete.



Fonte: do Autor, 2018.

Figura 24 - Regulação do material compactado no cilindro.



Fonte: do Autor, 2018.

Só após a forja repetida de 5 corpos de prova é que se pode obter os dados de peso do molde mais solo e de umidade da amostra para o preenchimento do quadro a seguir:

Grau de compactação do solo

Tabela 7 – umidades coletadas de cada corpo de prova.

MOLDE	Identificação da Capsula (g)	Capsula (g)	Capsula com Solo Úmido (g)	Capsula com Solo Seco (g)	Peso do Solo Úmido (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)
1	21	18,93	80,43	75,3	61,5	56,37	9,100585418
2	42	17,4	63,1	58,7	45,7	41,3	10,65375303
3	122	14	40,4	37,5	26,4	23,5	12,34042553
4	44	16,2	37	34,4	20,8	18,2	14,28571429
5	27	20	38,5	36	18,5	16	15,625

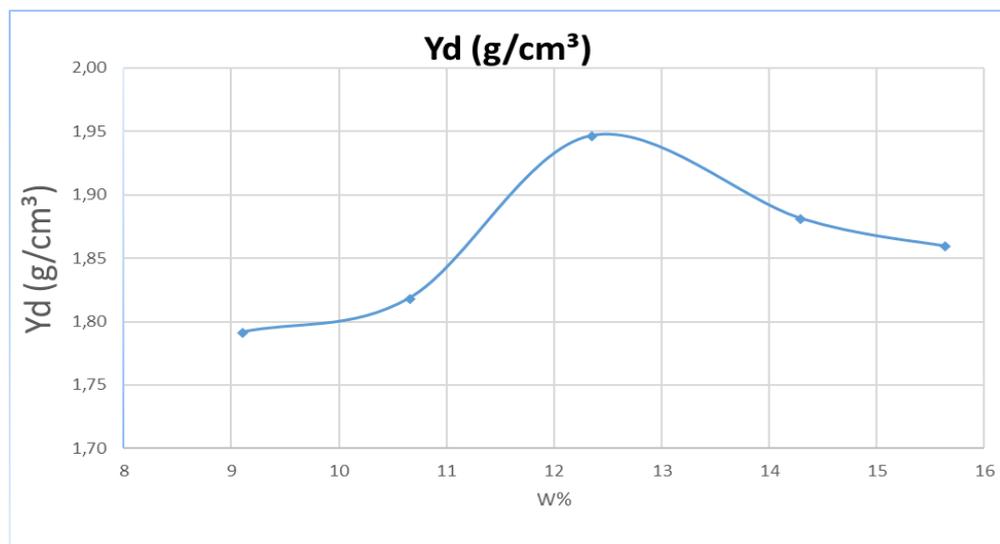
Fonte: do Autor, 2018.

Tabela 8 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo

	Diâmetro do Molde (cm)	Altura do Molde (cm)	Peso do Molde Vazio (g)	Peso do Molde com Solo Úmido (g)	Volume Do Molde (cm ³)	Peso Específico Natural (g/cm ³)	Peso Específico Seco (g/cm ³)
MOLDE 1	10,12	11,65	1950,29	3781,9	937,0803514	1,954592258	1,79155066
MOLDE 2	10,12	11,65	1950,29	3835,8	937,0803514	2,012111338	1,818385083
MOLDE 3	10,12	11,65	1950,29	4000	937,0803514	2,18733644	1,947060846
MOLDE 4	10,12	11,65	1950,29	3965,6	937,0803514	2,150626675	1,88179834
MOLDE 5	10,12	11,65	1950,29	3965,3	937,0803514	2,150306531	1,859724568

Fonte: do Autor, 2018.

Gráfico 3 – Grau de compactação do solo



Fonte: do Autor, 2018. Nota: gráfico obtido a partir das tabelas 5 e 6.

Com base no gráfico, o Peso Específico Seco máximo desse solo está entre 1,90 g/cm³ e 1,95 g/cm³. E a umidade ótima está entre 12 % e 13 %.

Grau de compactação do solo no traço 1:14

Tabela 9 – umidades coletadas de cada corpo de prova.

MOLDE	Identificação da Capsula (g)	Capsula (g)	Capsula com Solo Úmido (g)	Capsula com Solo Seco (g)	Peso do Solo Úmido (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)
1	47	17,9	54,1	50,9	36,2	33	9,696969697
2	57	16,4	30,6	29,2	14,2	12,8	10,9375
3	90	12,4	22,6	21,4	10,2	9	13,33333333
4	23	12,8	31,8	29,4	19	16,6	14,45783133
5	10	18,1	43,3	39,9	25,2	21,8	15,59633028

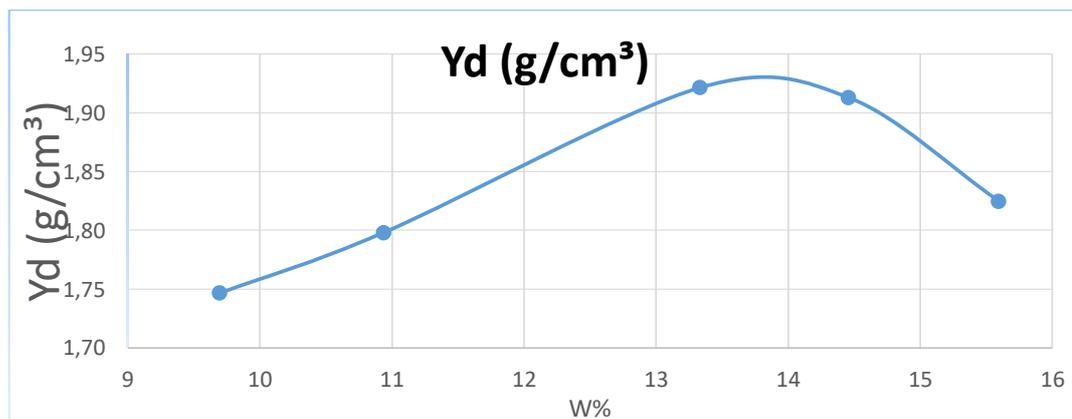
Fonte: do Autor, 2018.

Tabela 10 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo no traço 1:14

	Diâmetro do Molde (cm)	Altura do Molde (cm)	Peso do Molde Vazio (g)	Peso do Molde com Solo Úmido (g)	Volume Do Molde (cm ³)	Peso Específico Natural (g/cm ³)	Peso Específico Seco (g/cm ³)
MOLDE 1	10,07	12,62	1962,5	3888,2	1005,097464	1,915933597	1,746569301
MOLDE 2	10,07	12,62	1962,5	3967,4	1005,097464	1,994731925	1,798068214
MOLDE 3	10,07	12,62	1962,5	4151,2	1005,097464	2,177599763	1,921411555
MOLDE 4	10,07	12,62	1962,5	4163,2	1005,097464	2,189538903	1,912965568
MOLDE 5	10,07	12,62	1962,5	4082,6	1005,097464	2,109347675	1,824753148

Fonte: do Autor, 2018.

Gráfico 4 – grau de compactação do solo no traço 1:14



Fonte: do Autor, 2018. Gráfico obtido a partir das tabelas 7 e 8.

Com base no gráfico, o Peso Específico Seco máximo desse solo está entre 1,90 g/cm³ e 1,95 g/cm³. E a umidade ótima está entre 13 % e 14 %.

Grau de compactação do solo no traço 1:10

Tabela 11 - umidades coletadas de cada corpo de prova.

MOLDE	Identificação da Capsula (g)	Capsula (g)	Capsula com Solo Úmido (g)	Capsula com Solo Seco (g)	Peso do Solo Úmido (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)
1	6	4	16,6	15,5	12,6	11,5	9,565217391
2	30	4,5	18,6	17,2	14,1	12,7	11,02362205
3	8	4,4	22,5	20,5	18,1	16,1	12,42236025
4	46	4,8	18,3	16,6	13,5	11,8	14,40677966
5	7	4,7	22	19,6	17,3	14,9	16,10738255
6	23	4,7	23	20,3	18,3	15,6	17,30769231

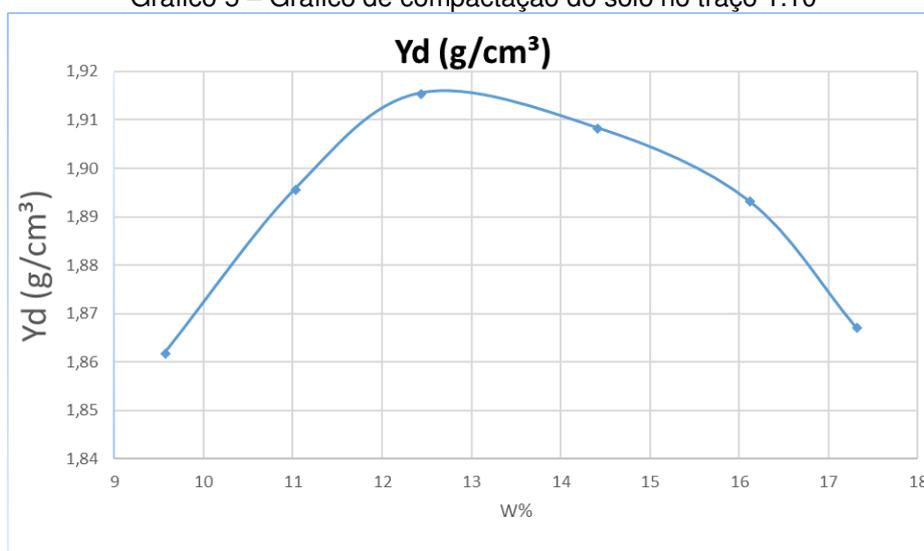
Fonte: do Autor, 2018.

Tabela 12 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo no traço 1:10

	Diâmetro do Molde (cm)	Altura do Molde (cm)	Peso do Molde Vazio (g)	Peso do Molde com Solo Úmido (g)	Volume Do Molde (cm ³)	Peso Especifico Natural (g/cm ³)	Peso Especifico Seco (g/cm ³)
MOLDE 1	10,07	12,62	1962,5	4013	1005,10	2,04	1,86
MOLDE 2	10,07	12,62	1962,5	4078	1005,10	2,10	1,90
MOLDE 3	10,07	12,62	1962,5	4127	1005,10	2,15	1,92
MOLDE 4	10,07	12,62	1962,5	4157	1005,10	2,18	1,91
MOLDE 5	10,07	12,62	1962,5	4172	1005,10	2,20	1,89
MOLDE 6	10,07	12,62	1962,5	4164	1005,10	2,19	1,87

Fonte: do Autor, 2018.

Gráfico 5 – Gráfico de compactação do solo no traço 1:10



Fonte: do Autor, 2018. Gráfico obtido das tabelas 9 e 10.

Com base no gráfico, o Peso Específico Seco máximo desse solo está entre 1,91 g/cm³ e 1,92 g/cm³. E a umidade ótima está entre 12 % e 13 %. Grau de compactação do solo no traço 1:12

Após a realização dos ensaios de compactação do solo nos traços 1:10 e 1:14, pode-se constatar que a variação de umidade ótima de compactação de ambos varia pouco, algo entorno de 12 % a 14 %. Como o traço 1:12 é o traço intermediário dos traços 1:10 e 1:14 e devido a pouca quantidade de material resolveu-se entender empiricamente que se pode afirmar que ele se enquadra na mesma faixa de umidade de 12 % a 14 %.

3.3 ESCOLHA DO TRAÇO DA MISTURA SOLO-CIMENTO

As proporções que irão constituir o tijolo solo cimento são dadas em função do tipo de solo escolhido. O Estudo Técnico, da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), através de parâmetros referentes ao solo como índices físicos e granulometria. Define que as proporções de cimento que deveram construir tijolo solo cimento sejam de 1:10, 1:12 e 1:14. Sendo o de 1:10 o traço rico, o de 1:14 o traço pobre e o traço de 1:12 como um traço intermediário.

Figura 25 – Dosagem de cimento conforme o solo utilizado



Fonte: SAHARA, 2017.

Só após todos os ensaios e dados obtidos anteriormente que é possível dar início ao principal propósito deste trabalho que é a mistura resíduo de construção civil com cimento. Com o solo apto para a confecção do tijolo e o conhecimento da umidade ótima de compactação. Pode-se dar início a confecção dos compôs de prova.

A escolha dos traços para a mistura teve embasamento na ABCP (1988) que recomenda a confecção dos tijolos seguindo os traços 1:10, 1:12 e 1:14. Sendo o de 1:10 o traço rico, o 1:14 o traço pobre e o traço 1:12 como um traço intermediário.

Tabela 13 – Traços propostos para a pesquisa

traço	composição (g)	
	cimento	solo
rico	1	10
intermediario	1	12
pobre	1	14

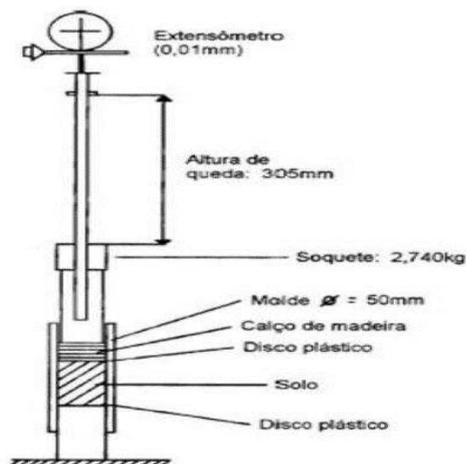
Fonte: do Autor, 2018.

3.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após a escolhas e determinação dos traços, pode-se dar início a confecção dos corpos de prova. Utilizou-se o método de compactação em miniatura com a utilização no ensaio de Mini-MCV devido a pouca quantidade de material (resíduo de construção civil) disponível.

A norma DNER-ME 258/94 discorre sobre o procedimento de compactação de solos, com corpos de prova tipo miniatura de diâmetro 50 mm. O método relaciona o número de golpes aplicados por um soquete e o teor de humidade da amostra.

Figura 26 – Esquema do equipamento de compactação em miniatura



Fonte: Pastore & Fontes, 1998

Para saber a quantidade de golpes da compactação da mistura utiliza-se um dos métodos para que o experimento pare: quando o número de golpes atingir 256; ao notar que o corpo de prova começou a expelir água (exsudação) ou quando a deformação do corpo de prova for inferior a 2mm.

Figura 27 – Equipamento de compactação em miniatura



Fonte: do Autor, 2018.

Com o decorrer dos testes do ensaio de Mini-MCV pode-se notar que a energia de compactação ideal era atingida próximo ao vigésimo quinto golpe, visto que já não havia mais deformação sensível no corpo de prova (menor que 2 mm). A humidade ótima de compactação foi determinada próxima de 14%, ela foi obtida através dos ensaios de compactação do solo.

Decidiu-se então que a quantidade de corpos de prova a serem forjados são de 5 corpos de prova para cada traço proposto (1:10; 1:12 e 1:14), sendo 2 destinados ao ensaio de absorção de água e 3 destinados ao ensaio de compressão.

Figura 28 – composição dos traços propostos (1:10; 1:12 e 1:14)



Fonte: do Autor, 2018.

Em seguida, deu-se início ao processo de homogeneização da mistura do material resíduo de construção civil, cimento e com a água utilizou-se por meio de um borrifador para evitar a formação de grumes na mistura na tentativa de deixá-la mais homogênea possível.

Figura 29 – homogeneização do traço 1:10



Fonte: do Autor, 2018.

Após a forja dos 5 primeiros corpos de provas, estes precisaram passar por um período de 24 horas para que pudessem ser desmoldados posteriormente.

Figura 30 – corpos de prova ainda nos moldes



Fonte: do Autor, 2018.

O processo de desmolde dos corpos de prova foi feito por meio de uma prensa mecânica que pressionava uniformemente a parte inferior do corpo de prova empurrando-o para fora do molde.

Figura 31 – desmolde do corpo de prova



Fonte: do Autor, 2018.

De forma análoga os procedimentos para a forja dos corpos de prova do traço 1:10 foram repetidos para os traços de 1:12 e 1:14.

Após a desmoldagem de todos os corpos de prova, estes foram separados de acordo com seu traço.

Figura 32 – corpos de prova desmoldados e separados de acordo com o traço (1:10; 1:12 e 1:14 da esquerda para a direita).



Fonte: do Autor, 2018.

Feito isso, os corpos de prova passaram por um processo de triagem para a classificação dos mesmos.

Tabela 14 – classificação dos corpos de prova.

Traço	Denominação				
T10	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
T12	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10
T14	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15

Fonte: do Autor, 2018.

Com os corpos de prova já classificados, estes foram submetidos a um processo de submersão em água para a hidratação do concreto com a manutenção da humidade, até que se completasse os 7 dias para que, por fim, se pudesse realizar os ensaios de absorção de água e compressão.

Figura 33 – Corpos de prova em processo de cura



Fonte: do Autor, 2018.

Passados os 7 dias de cura dos corpos de prova, estes foram designados para os seus respectivos ensaios sendo 6 dos corpos de prova escolhidos de maneira aleatória para os ensaios de absorção de água e o outros 9 foram designados para o ensaio de resistência a compressão, conforme a tabela a seguir:

Tabela 15 – Rastreamento dos corpos de prova conforme o ensaio

Traço	Absorção de Água	Resistência à Compressão
T10	CP1-CP2-CP4	CP3-CP5
T12	CP6-CP8-CP10	CP7-CP9
T14	CP12-CP13-CP15	CP11-CP14

Fonte: do Autor, 2018.

3.5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A eficácia da estabilização estrutural dos tijolos prensados de terra crua, com ou sem aditivos, é avaliada comumente por meio de testes físico-mecânicos destrutivos, como: ensaios de resistência à compressão simples, capacidade de absorção de água e durabilidade (GORDON et al., 1997; REN; KAGI, 1995; WALKER, 1995 apud SILVA et al. 2018, p. 8).

Figura 34 – Máquina para ensaio de resistência à compressão encontrada no mercado



Fonte: Google Imagens

Tais ensaios tiveram embasamento a partir da ABNT NBR 8492:1984 – Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água juntamente com a NBR 12025 – Solo-cimento Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos. Esse ensaio é baseado na relação da força aplicada por uma prensa mecânica em uma determinada área, e é dada em unidade de pressão, ela estuda também o comportamento da força normal atuante em um corpo de prova e como o corpo de prova suporta e distribui essa força atuante até que a força passe da fase elástica e chegue na fase inelástica. Nessa fase o corpo de prova não consegue voltar a sua forma original tendo como indicadores para isso rachaduras ou trincas.

Para ser realizado o ensaio de resistência a compressão, os corpos de prova que foram designados para o ensaio foram colocados para secagem ao ar livre.

Figura 35 – Corpos de prova secando ao ar livre



Fonte: do Autor, 2018.

Após a secagem, os corpos de prova passaram por um processo de capeamento com uma mistura de gesso e água num traço de 1:1 na sua face superior e inferior, para assim ter um melhor nivelamento da peça e, de modo consequente, um melhor desempenho na prensa.

Figura 36 – Sequência de capeamento dos corpos de prova



Fonte: do Autor, 2018.

Com o endurecimento da pasta (gesso-cimento), depois de permanecer por um período de 24h, os corpos de prova foram levados à prensagem para que se descobrisse as suas respectivas resistências a compressão.

Figura 37 – Execução do ensaio de compressão



Fonte: do Autor, 2018.

A máquina de prensagem nos dá como resultado a força máxima que o corpo de prova resiste até sua ruptura. Essa força é expressa em unidade de Tonelada força (Tf), com isso sabe-se que a pressão corresponde à força que se distribui naquela determinada área. Com o valor da força provindo da máquina e com a medição dos diâmetros pode-se calcular a área de atuação dessa força e, conseqüentemente, a tensão de ruptura como expresso nas tabelas a seguir:

Tabela 16 – medições dos Corpos de prova

Traço	CP	Diâmetro Superior (mm)			Diâmetro Inferior (mm)			Média dos diâmetros (mm)	Haltura (mm)
01:14	CP12	50,24	50,13	50,01	50,19	50,23	50,05	50,14166667	60,22
01:14	CP13	49,6	49,88	50,03	50,1	50,08	49,95	49,94	60,12
01:14	CP15	49,73	49,9	50,12	50,6	50,18	50,22	50,125	59,8
01:12	CP10	50	49,98	50,06	50,04	50,15	49,97	50,03333333	61,23
01:12	CP6	49,56	49,88	50,03	49,36	49,77	50,25	49,80833333	61,07
01:12	CP8	50,6	50,21	50,13	49,86	50,03	50,15	50,16333333	59,78
01:10	CP1	49,98	50,1	50,08	50	49,99	50,66	50,135	62,19
01:10	CP2	50,14	49,98	49,52	49,85	50,04	49,95	49,91333333	63,01
01:10	CP4	50,07	49,9	49,75	50,08	50,03	49,97	49,96666667	62

Fonte: autor, 2018.

Vale ressaltar que os corpos de prova foram confeccionados a fim de que sua altura se aproximasse o máximo possível da espessura do tijolo modular para se obter uma resistência à compressão que se aproximasse do real como pode se ver dada a figura a seguir:

Figura 38 – tijolo modular



Fonte: Paladinobr

Tabela 17– Resultados do ensaio de resistência à compressão

Traço	CP	Diâmetro Médio (mm)	Força Máx Lida (Tf)	Área (cm ²)	Resistência à Compressão (Mpa)	Média (Mpa)
01:14	CP12	50,14166667	0,76	19,74636	3,848810661	3,470653
01:14	CP13	49,94	0,69	19,587842	3,522593263	
01:14	CP15	50,125	0,6	19,733235	3,040555706	
01:12	CP10	50,03333333	0,79	19,661126	4,018081132	4,158447
01:12	CP6	49,80833333	0,8	19,484692	4,105787355	
01:12	CP8	50,16333333	0,86	19,763429	4,351471683	
01:10	CP1	50,135	1,01	19,741109	5,116227182	4,871004
01:10	CP2	49,91333333	1,03	19,566929	5,263984018	
01:10	CP4	49,96666667	0,83	19,608766	4,232800712	

Fonte: do Autor, 2018.

3.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A ABNT NBR 10836:1994 regulamenta esse ensaio seguindo os passos: seca-se o corpo de prova em estufa a uma temperatura de 105 °C e 110 °C até a constância da massa para poder aferir a massa seca do material, imergir o corpos-de-prova em água por um período de um dia, após retirar o corpo-de-prova da água enxugar a parte exterior com um pano e aferir o novo peso do corpo de prova.

$$A\% = (M2 - M1/M2) \times 100$$

Os valores de M2 e M1 são os valores dos pesos em (g) da massa após o período de submersão e massa do corpo após o período de secagem na estufa, e A% é a taxa de absorção de água em porcentagem.

Figura 39 – Corpos de prova na estufa e depois imersos em água



Fonte: do Autor, 2018.

Para se obter o valor de absorção de água afere-se os pesos dos corpos de provas após a secagem na estufa e logo em seguida do período de imersão. Vale ressaltar que é muito importante a secagem do excesso de água superficial após o período de imersão. Feito isso, pode-se obter os resultados de absorção de águas expressos na tabela a seguir:

Tabela 18 – Resultado do teste de absorção de água

Traço	CP	Peso Seco (g)	Peso Úmido (g)	Absorção de Água (%)
01:14	CP3	168,8	194,7	15,3436019
01:14	CP5	168,1	193,9	15,34800714
01:12	CP7	168,4	195,8	16,27078385
01:12	CP9	168,8	195,7	15,93601896
01:10	CP11	166,8	197,5	18,40527578
01:10	CP14	166,9	197,8	18,51408029

Fonte: do Autor, 2018.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Dada a análise granulométrica aplicada ao solo em questão deste trabalho, constatou-se que passavam pela peneira de abertura 4,8 mm 100%, ao passo que na peneira de abertura 0,075 mm passavam uma totalidade de 10,54% de seus grãos. Este resultado torna este solo apto para a confecção de tijolos ecológicos seguindo as normas da NBR 10833/1989.

Tabela 19 – Análise dos resultados de análise granulométrica do solo

Abertura	Requisitos (%)	% que passa
4,8 mm	100	100
0,075 mm	Entre 10 % e 50 %	10,54

Fonte: do Autor, 2018.

4.2 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Mesmo não sendo possível a realização de ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, conseguiu-se classificar o solo como muito arenoso e não plástico. Podendo a partir desse princípio limitar uma zona de liquidez e limite de plasticidade que este solo se encontra tal qual como expresso no quadro (pagina 13). E concluir que esse solo é apto para a confecção de tijolo pois se enquadra na norma NBR 10833/1989.

Tabela 20 – Análise do resultado dos limites de consistência do solo

Limite de consistência	Requisito %	Encontrado %
Limite de Liquidez	$\leq 45 \%$	0 a 30
Índice de Plasticidade	$\leq 18 \%$	0 a 10

Fonte: do Autor, 2018.

4.3 RESISTENCIA A COMPRESSÃO

Os resultados após os testes de resistência a compressão conseguiram suprir os requisitos solicitados pela norma ABNT NBR 8491:1984 para todos os traços propostos. O quadro a seguir resume as resistências médias obtidas e a resistência solicitada pela norma:

Tabela 21 – comparativo resistência média e resistência solicitada

Traço	Resistência Média à Compressão (Mpa)	Resistência solicitada (MpA)
01:14	3,47065321	2
01:12	4,158446724	2
01:10	4,87100397	2

Fonte: do Autor, 2018.'11221

Vale ressaltar que até a resistência do traço 1:14, que é o traço pobre, conseguiu superar com folga a resistência mínima solicitada. Com esse resultado nota-se a possibilidade de se estudar uma dosagem com o menor uso de cimento ainda.

4.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Dado os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água, notou-se que este conseguia satisfazer a norma ABNT NBR 8491:1984 como está resumido o quadro abaixo:

Tabela 22 – comparativo Absorção de Água Obtida e Absorção de Água Máxima

Traço	Absorção de Água Obtida (%)	Absorção de Água Máx. (%)
01:14	15,3436019	20
01:14	15,3480071	20
01:12	16,2707838	20
01:12	15,936019	20
01:10	18,4052758	20
01:10	18,5140803	20

Fonte: do Autor, 2018.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS ACERCA DOS RESULTADOS OBTIDOS

Ao analisar os resultados obtidos nesse trabalho, pode-se resumir os mais importantes que são resistência a compressão e absorção de água no quadro abaixo:

Tabela 23 – comparativo Absorção de Água Obtida e Absorção de Água máxima.

Traço	Resistência à Compressão média (Mpa)	Absorção de Água média (%)
01:14	3,47065321	15,34580452
01:12	4,158446724	16,1034014
01:10	4,87100397	18,45967803

Fonte: do Autor, 2018.

5.1 PROPOSIÇÃO DE NOVOS TRABALHOS

Como visto, como traço de 1:14 consegue satisfazer a resistência mínima pedida por norma com uma boa de segurança, pode-se trabalhar no estudo de um traço com a proporção solo e cimento menor ainda.

Pode-se, ainda, propor um estudo e detalhamento dos métodos construtivos realizados com o uso da tecnologia do sistema tijolo modular.

REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio.** São Paulo, 1980: ABCP.

ABNT – Associação Brasileira de **Normas Técnicas. NBR 12023/1992.** Disponível em pdf: <http://www.engcivil105.xpg.com.br/Normas/NBR_12023.PDF>. Acesso em: _____.

_____. **NBR 10.833/1989.** Disponível em pdf: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/nbr-10833-fabricac3a7c3a3o-de-tijolo-macic3a7o-e-bloco-vazado-de-solo-cimento-com-utilizac3a7c3a3o-de-prensa-hidrc3a1ulica.pdf>>. Acesso em: 09/06/2018.

_____. **NBR 6502/ 1995.** Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAyA0AG/nbr-6502-rochas-solos>>. Acesso em: 09/06/2018.

_____. **NBR 8491/1994.** Tijolo maciço de solo-cimento: especificação, Rio de Janeiro, 1984. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/26936094/nbr-8491-tijolo-macico-de-solo-cimentoespecificacao>>. Acesso em: 09/06/2018.

_____. **NBR 8492** – Tijolos maciços de solo-cimento: determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio, Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7182/1986.** Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=7068>>. Acesso em: 09/06/2018.

_____. **NBR 12025/2012.** Solo-cimento_ _Ensaio_de_compressao_simples_de_corpos-de-prova_cilindricos. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36177/nbr12025-solo-cimento-ensaio-de-compressao-simples-de-corpos-de-prova-cilindricos-metodo-de-ensaio>>. Acesso em: 09/06/2018.

_____. **NBR 10836** – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural: determinação da resistência à compressão e da absorção de água, Rio de Janeiro, 1994.

CAPUTO, HOMERO PINTO. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: JC, 1996.

CINCOTTO, M.A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil, In: IPT, **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: Pini, 1988.

CRATERRE – Centre International de la Construction en Terre. (1979). Construire en terre. Paris: CRATERRE.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução nº 307, de 5 de julho 2002**. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307. Acesso em: 09/06/2018.
DALAROSA, FABIANO LUÍS. **Relatório de limite de liquidez e limite de plasticidade**. 2014. Disponível em: <https://www.trabalhosgratuitos.com/Exatas/Engenharia/LIMITES-SOLO-1063069.html>. Acesso em: 09/06/2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ME 041. Solos – Preparação de amostras para ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER – ME 080. Solos – Análise granulométrica por peneiramento**, Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER – ME 082 – Solos – Determinação do Limite de Plasticidade**, Rio de Janeiro, 1994.

_____. **DNER – ME 122 – Solos – Determinação do Limite de Liquidez**, Rio de Janeiro, 1994.,

_____. **DNER – ME 258 – Solo compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV**, Rio de Janeiro, 1994.

GLOBO CIÊNCIA. **Construção Civil consome até 75% da matéria-prima do planeta**. 2014. Disponível em: <http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>. Acesso em: 08/06/2018.

FARIA, CAROLINE. **Definição de resíduos sólidos**. 2018. Disponível em: <https://www.infoescola.com/ecologia/definicao-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 09/06/2018.

GRUPO ECO. **Tijolo ecológico - porque é ecológico?** 2018. Disponível em: <https://ecomaquinas.com.br/index.php/bra/tijolo-ecologico-porque-e-ecologico>. Acesso em: 08/06/2018.

ICESP. **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil.** 2015. Disponível em pdf: http://nippromove.hospedagemdesites.ws/arquivos_up/documentos/8b9d51630665c0b519f6be0fc2663b7e.pdf. Acesso em: 08/06/2018.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo.** Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em dia/mês/ano.

PELLETIER, François. **População mundial atingiu 7,6 bilhões de habitantes.** Disponível em: <https://africa21digital.com/2017/06/21/populacao-mundial-atingiu-76-bilhoes-de-habitantes/>. Acesso em: 02/maio/2017.

SANTANA, C. R. **Limites de Atterberg ou limites de consistência.** Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Limites_de_Atterberg. Acesso em Novembro de 2017.

SAHARA. **O solo-cimento na fabricação do tijolo modular.** Manual feito pela empresa SAHARA – TECNOLOGIA MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS LTDA. Disponível em <http://www.sahara.com.br/pdf-sahara-tecnologia/brickito.pdf> Acesso em: Outubro de 2017.

SHIMAMURA, ÉRICA. **Tijolo inteligente dá rapidez e economia à construção.** 2010. Disponível em: <https://www.bonde.com.br/casa-e-decoracao/noticias/tijolo-inteligente-da-rapidez-e-economia-a-construcao-138709.html>. Acesso em: 08/06/2018.

SILVA, LEONIDO OLIVEIRA DA, SANTOS, GEOVANNA DO NASCIMENTO e SAVALIS, WESLIN KEVEN. **Tijolo solo-cimento: fabricação e utilização em construções que visam o equilíbrio ambiental.** 2018. Disponível em pdf: <https://www.google.com.br/search?q=artigos+sobre+res%C3%ADduos+s%C3%B3lidos+na+constru%C3%A7%C3%A3o+em+equil%C3%ADbrio+ambiental>. Acesso em: 09/06/2018.

SOUZA, FABIANA FIGO et al. **Gestão de resíduos sólidos na construção civil: uma análise do relatório GRI de empresas listadas na BM&FBOVESPA.** 2015. Disponível em pdf:

<<http://navus.sc.senac.br/index.php/navus/article/viewFile/251/265>>. Acesso em: 09/06/2018.

SOUZA, MÁRICA IKARUGI BOMFIN DE e SEGANTINI, ANTÔNIO ANDERSON DA SILVA. **Tijolos de solo-cimento com resíduos de construção**. 2006. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/113/artigo285544-2.aspx>> Acesso em: 08/06/2018.