

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

GABRIEL SOUSA CRUZ

**ESTUDO DO USO DE PET EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COMO
AGREGADO MIÚDO**

SÃO LUÍS - MA

2017

GABRIEL SOUSA CRUZ

**ESTUDO DO USO DE PET EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COMO
AGREGADO MIÚDO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Me. Ronaldo S. de Araújo Coelho

SÃO LUÍS

2017

GABRIEL SOUSA CRUZ

**ESTUDO DO USO DE PET EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COMO
AGREGADO MIÚDO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Me. Ronaldo S. de Araújo Coelho

Aprovada em: 04 / 12 / 2017

BANCA EXAMINADORA

~~Prof. Me. Ronaldo Sérgio de Araújo Coelho (Orientador)~~

~~Prof. Esp. José Ribamar Rodrigues Fernandes (Membro)~~

Profª. Esp. Carmen Lúcia Bentos Bastos (Membro)

DEDICATÓRIA

Dedico cada linha deste trabalho à memória de minha avó Maria de Jesus, que sempre foi para mim fonte inesgotável de sabedoria e companheirismo.

“A vida é muito curta para ser pequena.”

Benjamin Disraeli

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me guiar até aqui.

À minha mãe Olga, ao meu pai Joseano e à minha irmã e engenheira Ada por serem minha base, por me ensinarem as coisas que realmente importam na vida e por serem a força que me impulsiona rumo aos meus objetivos.

Aos meus amigos pelo companheirismo, palavras de incentivo e apoio.

Ao Professor, orientador e amigo Ronaldo Coêlho por aceitar andar ao meu lado nesta reta final de curso, pela clareza das palavras e pela firmeza de sua tutoria, sempre mostrando que seguir em frente é a única opção. Sem ele este trabalho não seria possível.

Aos laboratoristas Teodoro, Jurandir e Tales pelo apoio nos ensaios laboratoriais, que foi fundamental nesta pesquisa.

Ao Professor André Müller pelo acesso ao laboratório do IFMA.

Aos meus familiares pelo apoio e confiança.

Aos colegas da GDR Construções, onde tive a primeira oportunidade de atuar no campo da Engenharia Civil.

Aos amigos que também estavam na jornada de ensaios em laboratório pela parceria, que, às vezes, fazia parecer que estávamos realizando um só trabalho.

Aos professores do nosso curso de Engenharia Civil pelo conhecimento compartilhado.

Aos amigos do curso de Engenharia Mecânica pelo companheirismo e amizade.

Ao Sr. Carlos por proporcionar sempre o máximo de conforto aos alunos da UEMA em seu estabelecimento.

RESUMO

CRUZ, Gabriel Sousa. ESTUDO DO USO DE PET EM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO COMO AGREGADO MIÚDO. São Luís, 2017. 72 f. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão.

Tendo em vista a necessidade de reciclagem devido à preocupação ambiental com o depósito de resíduos sólidos na natureza, aliada ao crescente enfoque na escassez de recursos naturais, o presente trabalho apresenta a ideia de utilizar-se da versatilidade dos materiais de construção para estudar uma nova forma de se utilizar resíduos na Construção Civil, mais especificamente por meio da utilização de PET triturado em tijolos prensados de solo-cimento, de forma a substituir parte do solo utilizado.

Palavras-chave: alvenaria de vedação, PET, reciclagem, tijolo ecológico.

ABSTRACT

CRUZ, Gabriel Sousa. STUDY OF THE USE OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) IN SOIL-CEMENT BRICKS AS SMALL AGGREGATE. São Luís, 2017. 72p. Work for course conclusion. Civil Engineering School, Universidade Estadual do Maranhão.

Aiming the need of recycling due to the environmental concern from the depositing of solid wastes in nature, combined to the crescent focus at the scarcity of natural resources, this work presents the idea of using the construction materials versatility for studying a new way of utilizing wastes at building, specifically the use of recycled poly(ethylene terephthalate) in soil-cement bricks, in order to replace part of the soil.

Keywords: brickwork, PET, recycling, ecologic brick.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo geral	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 JUSTIFICATIVA	3
1.4 METODOLOGIA	3
1.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	4
1.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
2.1 RECICLAGEM DO PET NA CONSTRUÇÃO CIVIL	5
2.2 TIJOLO ECOLÓGICO	8
2.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO	10
2.3.1 Escolha do Solo	10
2.3.2 Escolha dos Traços	13
2.3.3 Umidade Ótima	14
2.3.4 Equipamento do ensaio de Mini-MCV	14
2.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	15
2.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA	17
2.6 PARÂMETROS ACEITÁVEIS	17
3. METODOLOGIA.....	18
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	20

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
4.2 ENSAIOS LABORATORIAIS	21
4.2.1 PET	21
4.2.2 Solo Natural	25
4.2.2.1 Análise Granulométrica	26
4.2.2.2 Cimento.....	36
4.2.2.2 Grau de Compactação	36
4.3 MISTURA SOLO - PET- CIMENTO.....	42
4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	46
4.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	49
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	52
5.1 LIMITES DE CONSISTÊNCIA	52
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	52
5.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	53
5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	54
6. CONCLUSÃO.....	55
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
6.2 PROPOSIÇÃO DE NOVOS TRABALHOS	56
7. REFERÊNCIAS.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Requisitos para escolha de solo para tijolos de solo-cimento (continua)	10
Tabela 2.2 - Denominação dos componentes do solo	11
Tabela 4.1 – Panorama da amostra de PET utilizada na pesquisa.....	25
Tabela 4.2 – Critérios de seleção de solo para componentes de alvenaria.....	25
Tabela 4.3 – Percentual de finos do solo utilizado	30
Tabela 4.4 – Análise granulométrica do solo utilizado (continua).....	31
Tabela 4.5 – Dados para obtenção do Limite de Liquidez (continua).....	33
Tabela 4.6 – Dados para obtenção do Limite de Plasticidade (continua).....	35
Tabela 4.7 – Dados para obtenção do grau de compactação do solo (continua).....	37
Tabela 4.8 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo	38
Tabela 4.9 – Dados para obtenção do grau de compactação do solo-cimento traço 1:14	39
Tabela 4.10 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo-cimento 1:14.....	40
Tabela 4.11 – Dados para obtenção do grau de compactação do solo-cimento traço 1:10	41
Tabela 4.12 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo-cimento 1:10.....	41
Tabela 4.13 – Traços propostos para a pesquisa	43
Tabela 4.14 – Rastreamento dos corpos de prova de acordo com o traço.....	45
Tabela 4.15 – Rastreamento dos corpos de prova conforme o ensaio.....	46
Tabela 4.16 – Resultados do ensaio de resistência à compressão	49
Tabela 4.17 – Resultado do teste de absorção de água.....	51
Tabela 5.1 – Análise do resultado dos limites de consistência do solo	52
Tabela 5.2 – Análise dos resultados de análise granulométrica do solo.....	53
Tabela 5.3 – Análise dos resultados de resistência à compressão	53
Tabela 5.4 – Análise dos resultados de absorção de água	54
Tabela 6.1 – Resultados finais	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Garrafas PET descartadas no meio ambiente.....	5
Figura 2.2 – Como o PET é reaproveitado no Brasil	6
Figura 2.3 – Piso intertravado feito de material reciclado	7
Figura 2.4 – Madeira Plástica RRC.....	8
Figura 2.5 – Tijolo modular.....	9
Figura 2.6 – Instalações em tijolos modulares	9
Figura 2.7 – Limites de consistência do solo	12
Figura 2.8 – Dosagem de cimento conforme o solo utilizado.....	13
Figura 2.9 – Relação entre Peso Específico Aparente Seco e a umidade.....	14
Figura 2.10 – Esquema do equipamento de compactação em miniatura	15
Figura 2.11 – Máquina para ensaio de resistência à compressão encontrada no mercado.....	16
Figura 3.1 - Fluxograma de etapas da pesquisa.....	18
Figura 4.1 – Local de escavação do solo e amostra	21
Figura 4.2 – (a) Garrafas PET sem a tampa e o fundo e (b) PET em tiras	22
Figura 4.3 – Moinho de Facas	23
Figura 4.4 – Detalhes da trituração do PET	24
Figura 4.5 – Total de grãos de PET menores que 4,8 mm	24
Figura 4.6 – Amostra de solo seca ao ar livre	26
Figura 4.7 – Destorroamento do solo	27
Figura 4.8 – Solo destorroado	27
Figura 4.9 – Separamento da amostra	28
Figura 4.10 – Peneiramento por lavagem.....	29
Figura 4.11 – Porção de solo sem grãos menores que 0,075 mm	30
Figura 4.12 – Série de peneiras	31
Figura 4.13 – Materiais para ensaios de determinação dos limites de consistência do solo ...	32
Figura 4.14 – Execução do ensaio de Limite de Liquidez	33
Figura 4.15 – Gráfico do Limite de Liquidez.....	34
Figura 4.16 – Execução do ensaio de Limite de Plasticidade	35
Figura 4.17 – Cilindros para o ensaio de compactação	37
Figura 4.18 – Gráfico de compactação do solo	39
Figura 4.19 – Gráfico de compactação do solo-cimento traço 1:14.....	40
Figura 4.20 – Gráfico de compactação do solo-cimento traço 1:10.....	42

Figura 4.21 – Traços propostos para a pesquisa.....	43
Figura 4.22 – Equipamento de compactação em miniatura	43
Figura 4.23 – Sequência de fabricação dos corpos de prova.....	44
Figura 4.24 – Corpos de prova em processo de cura.....	45
Figura 4.25 – Corpos de prova secando ao ar livre	46
Figura 4.26 – Sequência de capeamento dos corpos de prova	47
Figura 4.27 – Execução do ensaio de compressão e corpos de prova deformados	48
Figura 4.28 – Fórmula para correção da leitura da prensa	48
Figura 4.29 – Corpos de na estufa e depois imersos em água.....	50

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A tendência à escassez de recursos naturais, aliada à crescente preocupação com a preservação ambiental, leva a construção civil a buscar, cada vez mais, a implementação de soluções técnicas cujo diferencial é a sustentabilidade das atividades, reduzindo, assim, o seu impacto ambiental. Sabe-se que a indústria da construção civil é o maior setor consumidor de recursos naturais. Segundo Sjöström (1996), em um metro quadrado de construção são gastos em torno de uma tonelada de materiais. A partir desse ponto, o aproveitamento de resíduos, que levariam milhares de anos para se decomporem na natureza, na construção civil, destaca-se como possível alternativa para reduzir o uso de materiais.

Segundo Cincotto (1988), o emprego de resíduos na construção civil pode se tornar uma atividade de extrema importância e mais frequente, dada a diversidade, a quantidade disponível e as suas potencialidades. Nesse sentido, começa-se a pensar com mais abrangência no que diz respeito às diversas formas de se aproveitar um determinado resíduo na construção civil visto que, além da possibilidade de diminuir seus impactos ambientais quando simplesmente despejados na natureza, pode-se, em determinadas situações, até mesmo se observar vantagens técnicas e redução de custos.

Este trabalho visa determinar a viabilidade da utilização do Politereftalato de Etileno (a partir daqui chamado, neste trabalho, por seu nome usual: PET) na substituição parcial do agregado miúdo da mistura de solo-cimento, utilizada na fabricação de tijolos prensados para alvenaria de vedação.

Independentemente do local, tamanho, tipo ou até mesmo classe social da obra, o tijolo é matéria-prima básica da construção civil. Um dos tipos é o tijolo de solo-

cimento, composto basicamente por água, solo e cimento, que, quando comparado à alvenaria convencional, uma das inúmeras vantagens que podemos perceber é que ele, em sua confecção, não precisa ser cozido em fornos como o tijolo cerâmico, queimando grandes quantidades de lenha e liberando gás carbônico na atmosfera.

O solo-cimento foi inicialmente empregado no Brasil na construção de base e sub-base na pavimentação de estradas. Ele só foi implementado de forma ampla na construção de moradias por volta de 1978, quando a técnica foi aprovada pelo antigo BNH (Banco Nacional da Habitação, equivalente à Caixa Econômica Federal nos dias de hoje) na construção de casas populares. Na época, estudos já apontavam bom desempenho termo acústico e econômico do solo cimento, levando a uma redução de custos de 20 a 40 %.

Para reduzir ainda mais os impactos ambientais, surge a ideia da possibilidade de adicionar PET proveniente de garrafas plásticas à mistura solo-cimento, por um lado deixando de serem descartadas na natureza, levando anos para se decompor, e, por outro, reduzindo a utilização do solo natural

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade da utilização do Politereftalato de Etileno (PET) na confecção de tijolos prensados de solo-cimento para alvenaria de vedação, por meio de substituição parcial do agregado miúdo natural por PET triturado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Submeter os materiais envolvidos à análise laboratorial para identificar seus principais índices físicos;
- Confeccionar corpos de prova de solo-cimento com PET triturado em diferentes traços;
- Testar os corpos de prova para verificar a resistência mínima de 2 MPa aos sete dias e absorção de água menor que 20 %;

- Analisar os resultados obtidos para estudar a viabilidade de utilização do PET no tijolo de solo-cimento.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), apesar de todo apelo pela reciclagem do PET e do Brasil ser um dos mais desenvolvidos na questão, representando a maior variedade na reciclagem de PET do mundo, sua quantidade reciclada, segundo o décimo Censo da Reciclagem de PET no Brasil, ainda é de 274 mil toneladas, representando apenas 51 % do total produzido.

Visando um apoio ao meio ambiente, a construção civil se destaca como possível aliada no aproveitamento desse tipo de resíduo, em especial na forma de agregado miúdo em tijolos de solo-cimento. Fica, assim, visível a necessidade de um estudo detalhado que determine a viabilidade, ou não, da ideia apresentada.

A escolha da metodologia solo-cimento com uso de prensa manual na fabricação de tijolos se justifica, em especial, pelos seguintes fatores:

- baixo índice de perdas, visto que a alvenaria modular minimiza o desperdício;
- farta disponibilidade de materiais, pois há uma certa facilidade em se encontrar o solo e uma grande quantidade de material PET descartado;
- baixo custo quando comparado com as alvenarias convencionais, sem contar o impacto minimizado ao meio ambiente quando se dispensa a queima;
- versatilidade dos equipamentos quanto à forma e também o seu uso no próprio canteiro de obras, permitindo a economia em gastos com transporte;
- eficiência construtiva devido ao seu sistema modular, onde os encaixes possibilitam fácil manuseio no assentamento e, ainda, economia em argamassa.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa é sintetizada nas seguintes etapas:

- pesquisa bibliográfica de material disponível (livros, dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos científicos);

- seleção de amostras envolvidas nesta pesquisa (solo natural e PET);
- ensaios que comprovem que o solo escolhido é adequado para o tijolo de solo-cimento;
- obtenção de uma mistura que proporcione a produção de tijolos para alvenaria de vedação atendendo os requisitos da norma afim;
- apresentação da pesquisa para conclusão de curso de graduação.

1.5 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Para desenvolvimento desta pesquisa, todos os passos serão fundamentados em ensaios laboratoriais.

1.6 LIMITAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho restringiu-se ao estudo do uso de PET triturado em determinadas misturas de solo-cimento (utilizadas na fabricação de tijolos ecológicos), como substituto de determinadas frações (traços) do solo natural, buscando determinar apenas sua viabilidade técnica, ao atender a resistência mínima à compressão de 2 MPa aos sete dias e índice de absorção de água menor que 20 %.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RECICLAGEM DO PET NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET), o mercado de embalagens PET ainda é recente, com cerca de 20 anos de existência. Apesar de recente, é um mercado que cresceu de forma significativa, gerando preocupação pela sua geração de resíduos. No Brasil, segundo dados da própria ABIPET, a reciclagem do PET é de cerca de 274 mil toneladas, representando cerca de 51 % do total de resíduos gerados. O restante que é despejado no meio ambiente ainda é um valor muito alto, levando à preocupação de se aumentar ainda mais o percentual reciclado.

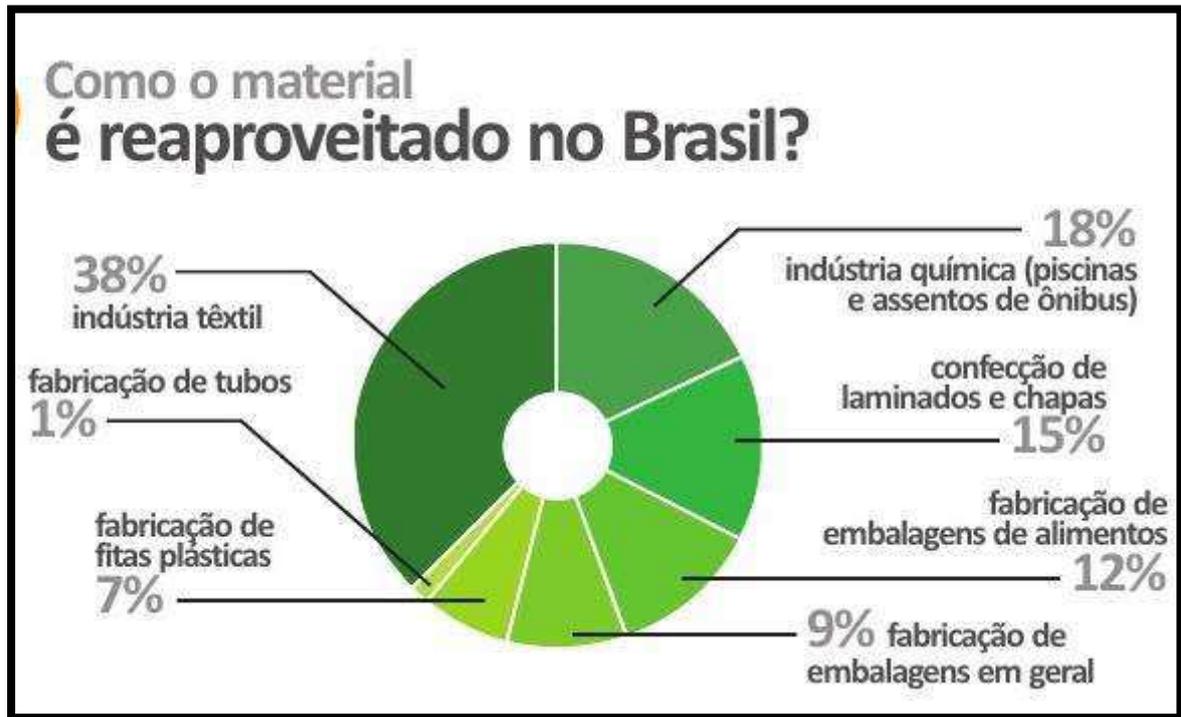
Figura 2.1 – Garrafas PET descartadas no meio ambiente



Fonte: RESÍDUO ALL, 2017

Para Figueiredo (2012), requisitada como estratégia para a gestão dos resíduos no destino final, a reciclagem possui a particularidade de ser uma atividade econômica bastante rentável. Por isso é notável que ela tenha movimentado grande quantia de capital. A ABIPET cita, ainda, que um terço do faturamento da indústria do PET provém da reciclagem.

Figura 2.2 – Como o PET é reaproveitado no Brasil



Fonte: ABIPET, 2012

Neste sentido, é visto como de grande importância o estudo da reciclagem do PET, principalmente quando atrelado à construção civil, grande aliada no aproveitamento de resíduos sólidos.

Segundo John (2000), se, na ponta geradora do resíduo, a reciclagem significa redução de custos e até mesmo novas oportunidades de negócios, na outra ponta do processo, a cadeia produtiva que recicla reduz o volume de extração de matérias-primas, preservando recursos naturais limitados.

De acordo com Lacôrte (2013), o setor de Construção Civil possui o maior potencial de consumo de resíduos provenientes de outras indústrias, como cinzas volantes, escórias de alto-forno, sílica ativa (na produção de cimentos, concretos e argamassas); papel reciclado na produção de gesso acartonado; pneus; bagaço de cana e diversos outros materiais.

Assim vê-se como uma nova alternativa a utilização de PET triturado na produção de tijolos de solo-cimento.

A Construção Civil é o maior setor de consumidor de Recursos Naturais. Quando construímos e urbanizamos cidades, estamos explorando e utilizando recursos naturais, como jazidas minerais que alteram a capacidade das florestas em produzir oxigênio, a qualidade das águas dos rios e o clima, que são fundamentais para a sobrevivência humana (LACÔRTE, 2013, p. 10).

A empresa Reciclagem Rio Claro, por exemplo, é especializada em peças construtivas fabricadas a partir de produtos 100 % reciclados, como o Piso Intertravado (Figura 2.3) feito de plástico reciclado e borracha moída, também reciclada. Ele é assentado sobre o pó de pedra sem ao menos a utilização de cimento. É antiderrapante, bastante durável e tem alta permeabilidade, evitando alagamentos. Possui uma boa aplicação em calçadas, praças, jardins, ciclovias, etc.

Figura 2.3 – Piso intertravado feito de material reciclado



Fonte: RRC PLÁSTICOS, 2016

Outro de seus produtos inovadores é a Madeira Plástica RRC (Figura 2.4), madeira feita a partir de plástico reciclado que, segundo a empresa, pode substituir a madeira de lei,

perfis fabricados em aço ou até mesmo o concreto, sem perdas nos quesitos de resistência e ainda de maneira ecologicamente correta.

Figura 2.4 – Madeira Plástica RRC



Fonte: RRC PLÁSTICOS, 2016

Neste sentido, é reforçada ainda mais a ideia de que o PET deve fazer parte da lista de materiais reciclados na construção civil, de forma a substituir parte do solo natural utilizado, utilizando-se, então, menos recursos provenientes da natureza.

2.2 TIJOLO ECOLÓGICO

O elemento da Construção Civil utilizado neste trabalho para que se implementasse a adição do referido resíduo sólido e, em paralelo, a substituição da matéria-prima natural foi o tijolo ecológico, também conhecido como tijolo de solo-cimento ou, ainda, tijolo modular, quando seu formato possibilita o encaixe.

Figura 2.5 – Tijolo modular



Fonte: CERBISORIANI, 2017

O tijolo de solo-cimento é composto, basicamente, de agregado miúdo (solo) e cimento, sendo a mistura, com uma umidade em torno de seu teor ótimo, prensada mecanicamente. Na maioria das vezes eles são feitos com uma forma modular, possibilitando o encaixe dos blocos e deixando um espaço entre eles para que sejam facilitados a instalação de elementos construtivos como, por exemplo, um tubo de água ou um eletroduto, dando uma ampla eficiência à construção.

Figura 2.6 – Instalações em tijolos modulares



Fonte: GOOGLE, 2017

Segundo Oliveira et al. (2014), o tijolo de solo-cimento apresenta-se como uma excelente alternativa na construção civil urbana ou rural por apresentar inúmeras vantagens em seu emprego na alvenaria e por permitir ainda, facilidades para a incorporação de resíduos.

De acordo com Grande (2003), o uso dos tijolos de solo-cimento produzidos por meio de prensas manuais, com aplicações de técnicas simples e soluções viáveis, permite o desenvolvimento de componentes de sistemas construtivos com as seguintes vantagens: controle de perdas; disponibilidade de abastecimento; baixo custo em comparação às alvenarias convencionais; durabilidade e segurança estrutural; funcionalidade de seus equipamentos; eficiência construtiva devido ao sistema modular; facilidade de manuseio devido aos encaixes que agilizam a execução da alvenaria; baixa agressividade ao meio ambiente ao dispensar a queima; economia de transporte quando produzido no próprio local da obra.

Ao analisarem-se estes aspectos, vê-se o tijolo de solo-cimento como uma ótima possibilidade de aliado à utilização de resíduos sólidos na Construção Civil. Assim, a possibilidade de se diminuir o despejo de resíduos na natureza potencializa o seu aspecto já sustentável e ecológico.

2.3 FABRICAÇÃO DO TIJOLO DE SOLO-CIMENTO

2.3.1 Escolha do Solo

As características ideais para o solo que compõe o tijolo ecológico são especificadas na ABNT NBR 10.833:1989. De acordo com a mesma o solo deve passar 100 % na peneira com 4,8 mm de abertura, de 10 a 50 % de seus grãos devem passar na peneira com 0,075 mm de abertura, o seu Limite de Liquidez deve ser igual ou inferior a 45 % e o seu Índice de Plasticidade deve ser inferior ou igual a 18 %.

Tabela 2.1 – Requisitos para escolha de solo para tijolos de solo-cimento (continua)

Característica	Requisitos
% de solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm (n.º 4)	100

Tabela 2.1 – Requisitos para escolha de solo para tijolos de solo-cimento (continuação)

Característica	Requisitos
% 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, 2017

Segundo Neves et al. (2009), o solo é constituído basicamente por partículas que podem ser agrupadas de acordo com as dimensões dos grãos. Cada grupo, ou faixa de dimensões, apresenta características próprias, que indicam seu comportamento como material de construção.

A seguir uma tabela que correlaciona, segundo Silva (2009), o tamanho das partículas com a sua denominação.

Tabela 2.2 - Denominação dos componentes do solo

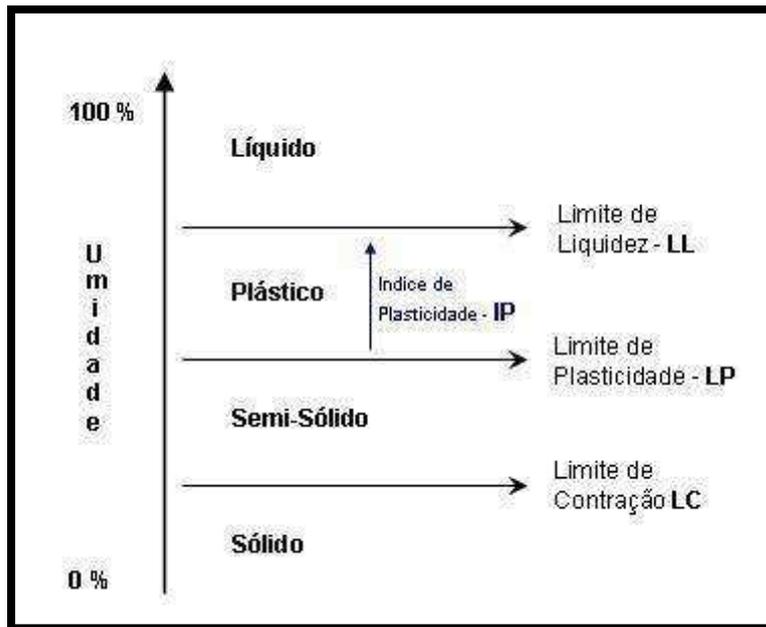
Nomenclatura	Tamanho das partículas
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia Grossa	De 2,0 mm a 4,8 mm
Areia Média	De 0,42 mm a 2,0 mm
Areia Fina	De 0,05 mm a 0,42 mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: do Autor, 2017

Para a aferição do tamanho das partículas a partir de 0,075 mm, o método de peneiramento, com incremento de lavagem para a desagregação das partículas finas, mostrou-se bastante eficiente, visto que há a facilidade de se encontrar peneira com tal abertura.

Outros elementos importantes de um solo, são os seus limites de consistência, ou seja, determinado intervalo de teor de umidade onde ele possui plasticidade. Este intervalo é compreendido entre o Limite de Liquidez e o Limite de plasticidade, e é chamado de Índice de Plasticidade do solo.

Figura 2.7 – Limites de consistência do solo



Fonte: SANTANA, 2015

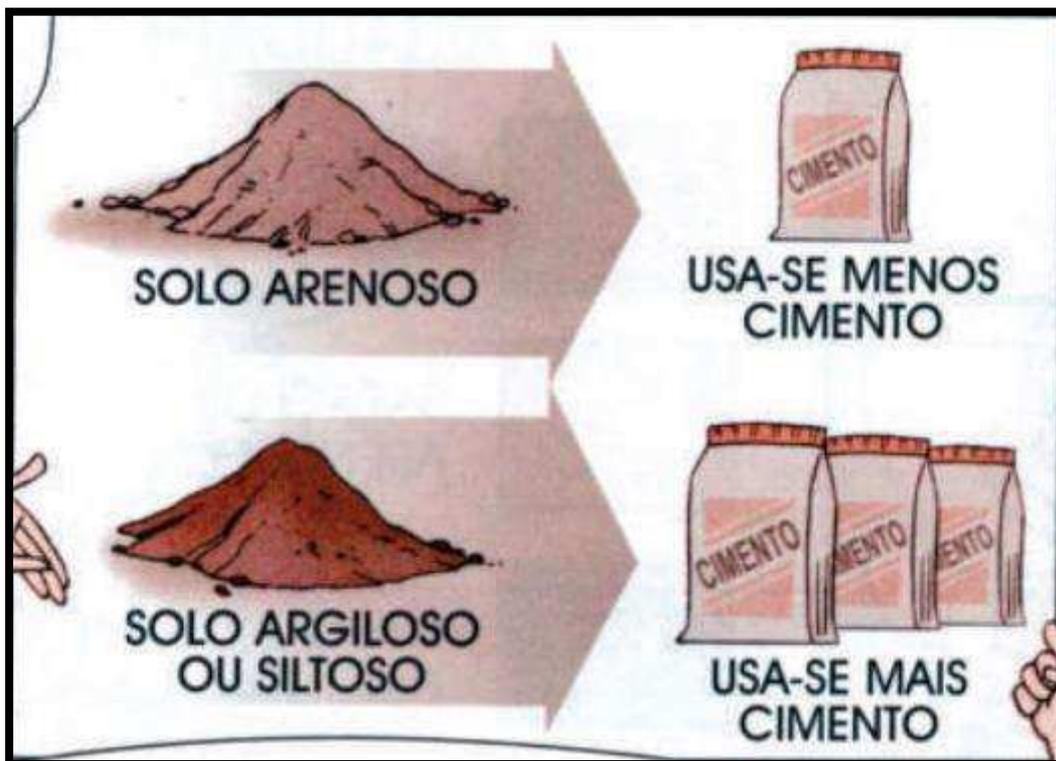
A plasticidade do solo e os limites de consistência são determinados através de dois ensaios: limite de liquidez e limite de plasticidade. Os ensaios de plasticidade são realizados somente com a parte fina do solo, representada pelo material que passa na peneira de abertura 0,42 mm. O limite de liquidez (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. 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 (NEVES et al, 2009, p. 9).

2.3.2 Escolha dos Traços

Conforme Mercado (1990) apud Grande (2003), a mistura solo-cimento consiste em um processo físico-mecânico de estabilização, em que as consequências são provenientes de uma reestruturação que resulta da reorientação das partículas sólidas do solo com a deposição de substâncias cimentantes nos contatos intergranulares, alterando, portanto, a quantidade relativa de cada uma das três fases – sólidas, água e ar, que constituem o solo.

Apesar de ABCP (1988) apud Grande (2003) recomendar que se estude traços de 1:10 a 1:14 na mistura de solo-cimento para tijolos ecológicos, a linha de entendimento da empresa SAHARA, que possui notável experiência no ramo dos tijolos modulares, por meio de seu manual para interessados na produção de tijolo ecológico, indica que devem ser estudados traços de 1:7 a 1:10, e fala, ainda, que os solos com uma maior quantidade de materiais finos precisam mais de cimento quando comparados aos solos com mais areia em sua composição.

Figura 2.8 – Dosagem de cimento conforme o solo utilizado



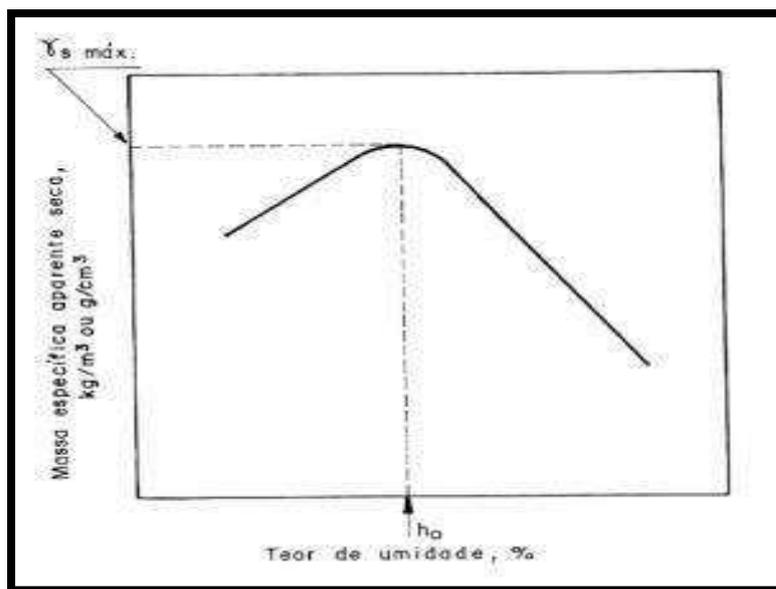
Fonte: SAHARA, 2017.

2.3.3 Umidade Ótima

Segundo Caputo (1988) apud Ferreira (2007), a compactação do solo é entendida pelo processo que tem como objetivo reduzir o volume de vazios do mesmo, o que acaba tornando-o mais estável e, por conseguinte, aumentando sua resistência. Na verdade, o teor ótimo promove uma lubrificação das partículas, facilitando, quando se imprime uma energia de compactação, o preenchimento de todos os vazios possíveis (GRANDE, 2003, p. 12).

O ensaio de compactação determina a umidade ótima e o peso específico máximo de um solo. Este ensaio foi proposto por um engenheiro americano que lhe deu o nome em 1933, onde consiste em compactar uma amostra de solo dentro de um molde cilíndrico com aproximadamente 1000 cm³, em cinco camadas sucessivas sob a ação de 25 golpes de um soquete, pesando 2,5 kg, caindo a 30 cm de altura (FERREIRA, 2007, p. 14).

Figura 2.9 – Relação entre Peso Específico Aparente Seco e a umidade



Fonte: ABNT NBR 12023:1992

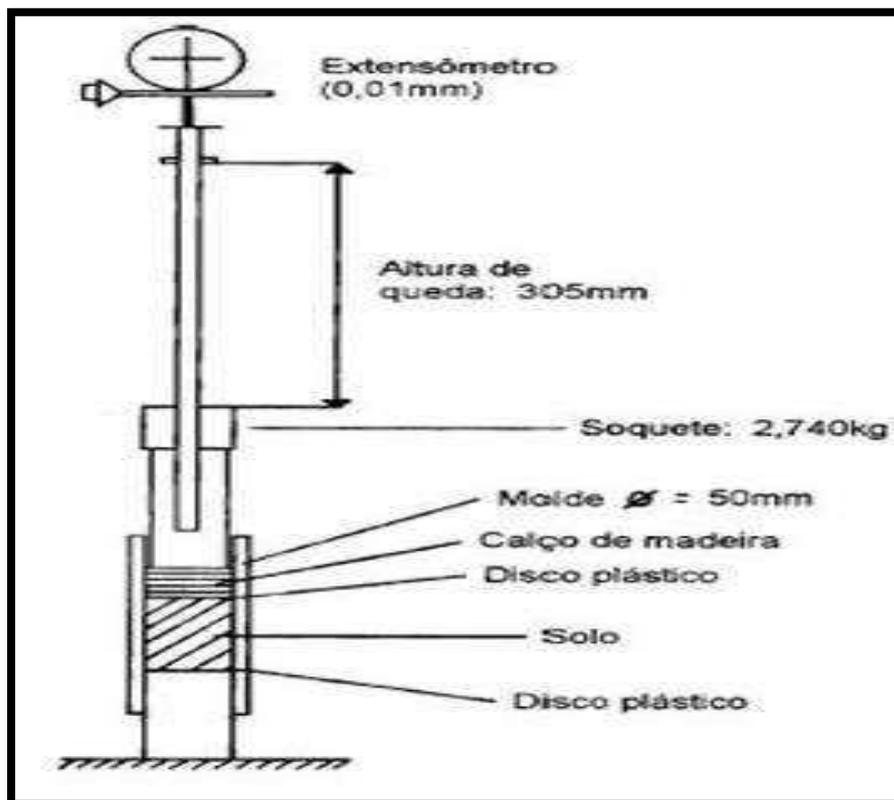
2.3.4 Equipamento do ensaio de Mini-MCV

Segundo a Norma DNER-ME 258/94, o ensaio de Mini-MCV é uma técnica de compactação de solos que passam na peneira de 2 mm de abertura, realizado com corpos de provas em tamanho miniatura, com 50 mm de diâmetro. Por meio dele, são determinados coeficientes empíricos para caracterização de solos tropicais. O método segue a mesma linha

do ensaio normal de compactação, relacionando o número de golpes aplicados por meio do soquete e o teor de umidade da amostra. Por esse motivo, o ensaio foi utilizado na compactação dos corpos de prova deste estudo.

Uma vez que já se tem a umidade ótima, resta saber apenas a quantidade de golpes de compactação da mistura. Para isso, utiliza-se um dos métodos de parada citados pela norma afim: quando a deformação do corpo de prova é inferior a 2 mm; quando há saída de água evidente do corpo de prova; aos 256 golpes aplicados.

Figura 2.10 – Esquema do equipamento de compactação em miniatura



Fonte: Pastore & Fontes, 1998

2.4 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; WEBB, 1992) apud Albuquerque et al. (2007).

A resistência à compressão é entendida pela pressão máxima suportada por determinado material quando submetido à compressão simples. É dado pela relação da força máxima normal, aplicada por uma prensa hidráulica, que um corpo de prova suporta e a área da seção atuante, ou seja, na qual se dissipa a força. Sendo, portanto, uma relação força sobre área e dada em uma unidade de pressão.

Figura 2.11 – Máquina para ensaio de resistência à compressão encontrada no mercado



Fonte: IMADA, 2017

O ensaios utilizados neste trabalho para analisar o desempenho quanto à resistência à compressão dos corpos de prova utilizados foram baseados na ABNT NBR 8492:1984 – Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à Compressão e da Absorção de Água.

2.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para a ABNT NBR 10836:1994, o ensaio de absorção de água deve ser feito da seguinte maneira: secar-se o corpo de prova em estufa na temperatura entre 105 °C e 110 °C até a constância de peso. Em seguida, deve-se enxugar o corpo de prova externamente com um pano e em seguida aferir-se seu peso em um intervalo não maior que 3 minutos. Assim, pode-se obter o valor da absorção de água (A%) por meio da seguinte fórmula:

$$A\% = \frac{M_2 - M_1}{M_2} \times 100$$

Onde M_1 é a massa do corpo de prova após a estadia na estufa, M_2 é a sua massa após o período de submersão, e A% é a taxa de absorção de água em porcentagem.

2.6 PARÂMETROS ACEITÁVEIS

Segundo ABNT NBR 8491:1984, os tijolos de solo-cimento quando submetidos ao ensaio de compressão, devem apresentar uma média mínima de 2 Mpa (20 kgf/cm²) e o menor valor individual não pode ser inferior a 1,7 Mpa (17 kgf/cm²). Quando submetidos ao ensaio de absorção de água, não podem ter uma média maior que 20 % e nem valor individual superior a 22 %.

Para analisar os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais, esta pesquisa seguiu rigorosamente os parâmetros supracitados.

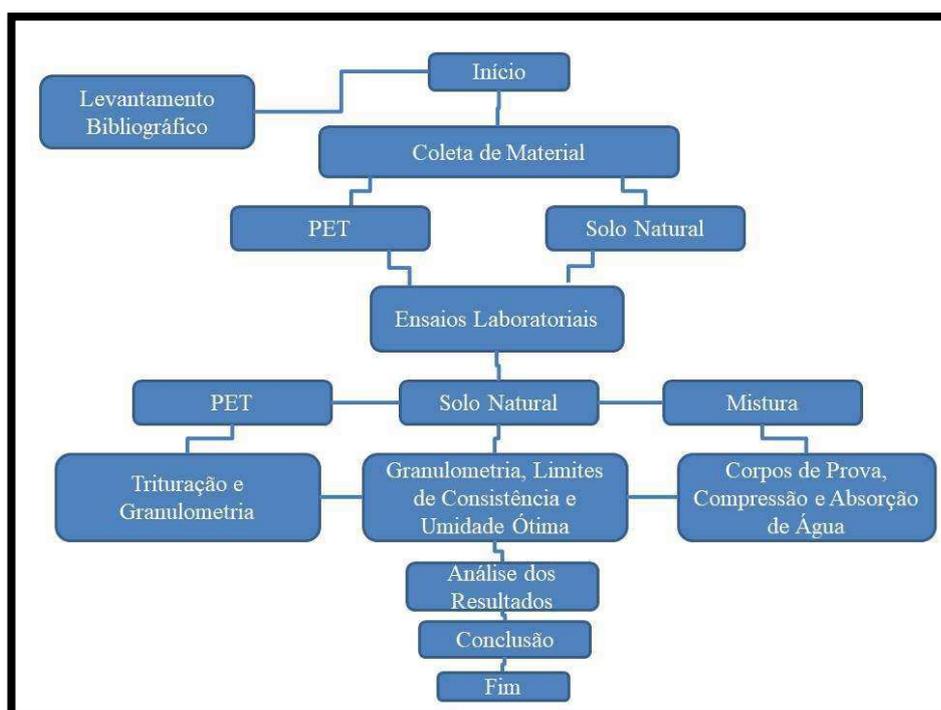
CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Esta pesquisa foi desenvolvida por meio da metodologia exploratória baseada em ensaios realizados nos laboratórios de Solos e Pavimentação e de Concreto da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, contando, ainda, com o apoio de equipamentos e ferramentas do Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal do Maranhão – IFMA. Utilizou-se, durante a pesquisa, amostras de solo natural, garrafas PET trituradas e sua mistura com cimento e água em diferentes proporções. Esta pesquisa estruturou-se de acordo com o fluxograma a seguir:

Figura 3.1 - Fluxograma de etapas da pesquisa



Após o devido levantamento bibliográfico, coletaram-se as amostras necessárias ao estudo para que se pudesse dar início aos trabalhos em laboratório. Após os devidos ensaios laboratoriais iniciais, tornou-se possível a confecção dos corpos de prova. Após os testes pertinentes, analisaram-se os resultados e, por fim, concluiu-se esta pesquisa.

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para o início deste trabalho, coletou-se o material que constitui o centro da pesquisa: o PET. Decidiu-se trabalhar com aqueles que fossem provenientes de garrafas de refrigerante e água de até 3,5 litros, tanto os transparentes como os coloridos. Para isso, contou-se com o auxílio de familiares e amigos.

Não foi difícil conseguir um bom volume de PET que satisfizesse os objetivos desta pesquisa, uma vez que é um material que está presente no dia a dia da população. Percebeu-se, ainda, que caso uma quantia maior fosse necessária, ela poderia ser conseguida facilmente através da coleta em lanchonetes “fast food” e restaurantes da cidade, onde há um altíssimo consumo de refrigerante e água, boa parte delas em garrafas PET.

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. O solo escolhido para esta pesquisa foi um solo proveniente da escavação de uma obra no bairro Renascença na cidade de São Luís/MA.

Figura 4.1 – Local de escavação do solo e amostra



Fonte: do Autor, 2017

4.2 ENSAIOS LABORATORIAIS

Os materiais citados acima foram submetidos a diversos ensaios laboratoriais que tanto avaliassem seu enquadramento na Norma ABNT NBR 10833:1989, quanto auxiliassem a moldagem de corpos de prova, para que, assim, fossem realizados ensaios de resistência à compressão e absorção de água, determinando a viabilidade, ou não, da mistura solo-pet-cimento.

4.2.1 PET

Após uma busca por uma máquina que pudesse triturar o PET nas principais empresas especializadas em reciclagem da cidade e em outros possíveis locais, chegou-se à conclusão que em São Luís não tem um local adequado para este tipo de procedimento. Entretanto, para que se desse andamento a esta pesquisa, procurou-se uma alternativa para triturar o PET. Pesquisando-se a respeito do tema, soube-se da realização de um trabalho no Instituto Federal do Maranhão – IFMA, com PET triturado sendo utilizado em misturas asfálticas. Após, então, autorização de André Müller, chefe do Departamento de Construção Civil do IFMA, iniciou-se os trabalhos de trituração no laboratório.

A princípio, a ideia era que se triturasse o PET inteiro, de forma a ficar em grãos finos ou pó. Porém, cortou-se a parte superior e o fundo das garrafas, para que se pudesse formar tiras de PET que fossem compatíveis com o tamanho das trituradoras do laboratório.

Figura 4.2 – (a) Garrafas PET sem a tampa e o fundo e (b) PET em tiras



Fonte: do Autor, 2017

Uma vez no laboratório, encontrou-se o Moinho de Facas (Figura 4.3), um triturador que reduz o material colocado a pó, bastante eficaz para amostras de palha e madeira, mas que não serviu para o estudo, uma vez que, por algum motivo, o PET colocado nele não era triturado de forma alguma.

Assim, foi necessário recorrer a outro equipamento semelhante que pudesse satisfazer os objetivos.

Figura 4.3 – Moinho de Facas



Fonte: do Autor, 2017

O outro moinho encontrado no Laboratório foi o Moinho de Cana (Figura 4.3), utilizado na pesquisa de PET com misturas asfálticas, citada anteriormente. Já este moinho mostrou-se, de certa forma, eficiente na trituração das tiras de PET, porém com a sua produtividade muito reduzida, entendida pelo fato de que ele não foi fabricado para triturar esse tipo de material. Ao entrar na máquina, o PET saía em grãos conforme a peneira especificada, que variavam desde o tamanho da abertura da peneira (cerca de 5 mm), até um pó bem fino. Dentro da máquina ficava uma maior parte ainda, desde grãos maiores que a abertura da peneira, a grandes pedaços que começavam a derreter com o calor do atrito com a máquina e as hélices não conseguiam mais cortá-los.

Figura 4.4 – Detalhes da trituração do PET



Fonte: do Autor, 2017

Uma das regras do solo utilizado para a mistura solo-cimento é que o solo deve passar 100 % na peneira de abertura 4,8mm. Portanto, como a função do PET neste estudo é substituir uma fração de solo, utilizaram-se apenas os grãos de PET passantes na peneira de 4,8mm. Apesar da baixíssima produtividade da máquina com os grãos menores, conseguiu-se cerca de 290 g de grãos de PET menores que 4,8 mm, quantidade suficiente para a fabricação dos corpos de prova segundo os traços propostos.

Figura 4.5 – Total de grãos de PET menores que 4,8 mm



Fonte: do Autor, 2017

A seguir, uma tabela que mostra as massas de cada forma de PET até se conseguir 290 g (sem considerar as pequenas perdas no processo).

Tabela 4.1 – Panorama da amostra de PET utilizada na pesquisa

Forma	Massa (g)	Fração da amostra (%)
Garrafas inteiras	893,7	100
Tampa e fundo	357,5	40
Tiras	536,27	60
Grãos maiores que 4,8 mm	246,27	27,5
Grãos menores que 4,8 mm	290	32,5

Fonte: do Autor, 2017

4.2.2 Solo Natural

Uma vez que o solo natural foi recebido no laboratório, era preciso saber-se se suas características se enquadravam nos pré-requisitos da NBR 10833:1989 para o solo utilizado na mistura solo-cimento, especificamente para a fabricação de tijolos. As faixas de enquadramento apresentam-se na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 – Critérios de seleção de solo para componentes de alvenaria

Característica	Requisitos
% 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, 2017

De início, conforme a tabela, foi preciso se conhecer a sua granulometria e em seguida os seus limites de consistência. Para isso baseou-se em na Norma de solos DNER-ME 041/94, que fala sobre a preparação de amostras para ensaios de caracterização, na Norma DNER-ME 080/94, que descreve o método de análise granulométrica por peneiramento e nas Normas

DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, que discorrem sobre os limites de consistência do solo.

4.2.2.1 Análise Granulométrica

Para que se desse início à análise granulométrica do solo, o primeiro passo era a secagem da amostra ao ar livre.

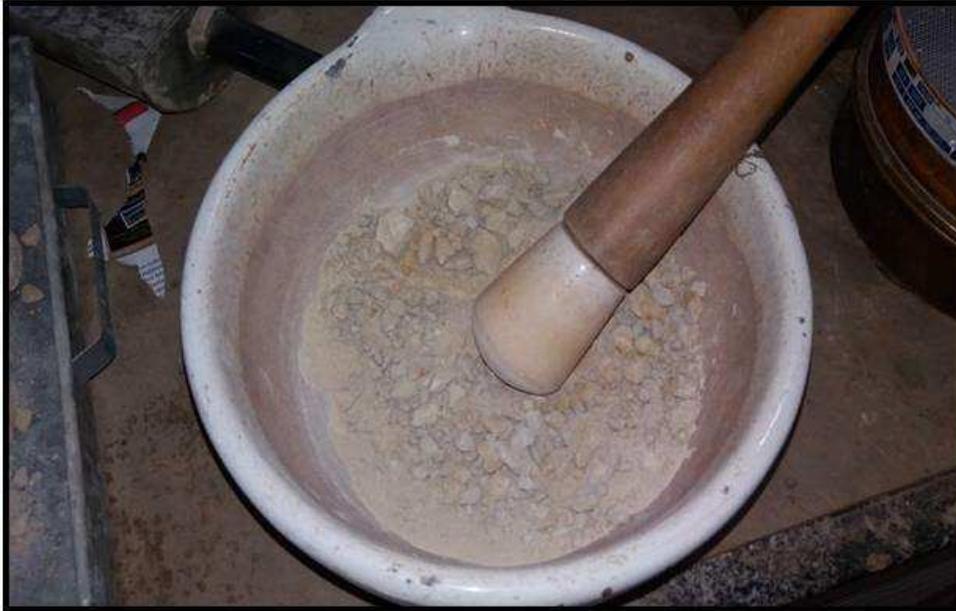
Figura 4.6 – Amostra de solo seca ao ar livre



Fonte: do Autor, 2017

Após a secagem da amostra, houve o seu destorroamento por meio do almofariz.

Figura 4.7 – Destorroamento do solo



Fonte: do Autor, 2017

Na figura seguinte podemos perceber que o solo que vem do campo é bastante compactado e ao ser destorroado apresenta um aspecto de um pó branco.

Figura 4.8 – Solo destorroado



Fonte: do Autor, 2017

O passo seguinte é garantir que toda a amostra estudada seja homogênea, para isso utiliza-se o método do quarteamento ou um separador de amostras. Para esta pesquisa, utilizou-se o separador de amostras. A homogeneização ocorre ao se despejar a amostra no separador, de modo que ele mistura as partículas de modo que ao se retirar uma porção de amostra separada garante-se que ela terá as mesmas características de qualquer outra que saiu do equipamento.

Figura 4.9 – Separamento da amostra



Fonte: do Autor, 2017

Com a amostra seca, destorroada e homogeneizada, pode-se dar início à sua análise granulométrica. Como o solo é visivelmente fino, identificou-se a primeira característica: ele passa 100 % na peneira ABNT 4,8 mm, atendendo ao primeiro requisito.

Para se analisar as partículas passantes na peneira ABNT 0,075 mm (n.º 200), utilizou-se de início da técnica de peneiramento por lavagem da amostra, justificada pelo fato de que as partículas que passam na peneira n.º 200 (em sua maioria silte e argila), costumam ficar grudadas às partículas maiores que não passam nesta peneira, comprometendo o resultado do ensaio. A técnica é simples: consiste em secar uma quantidade na estufa entre 105 °C e 110 °C por 24 horas para que seja eliminada a presença de água, após a pesagem da amostra, lava-se a mesma com água em uma peneira com abertura de 0,075 mm, desagregando-se as partículas menores que a abertura para que elas possam passar junto com a água e retornando as partículas não passantes para um recipiente.

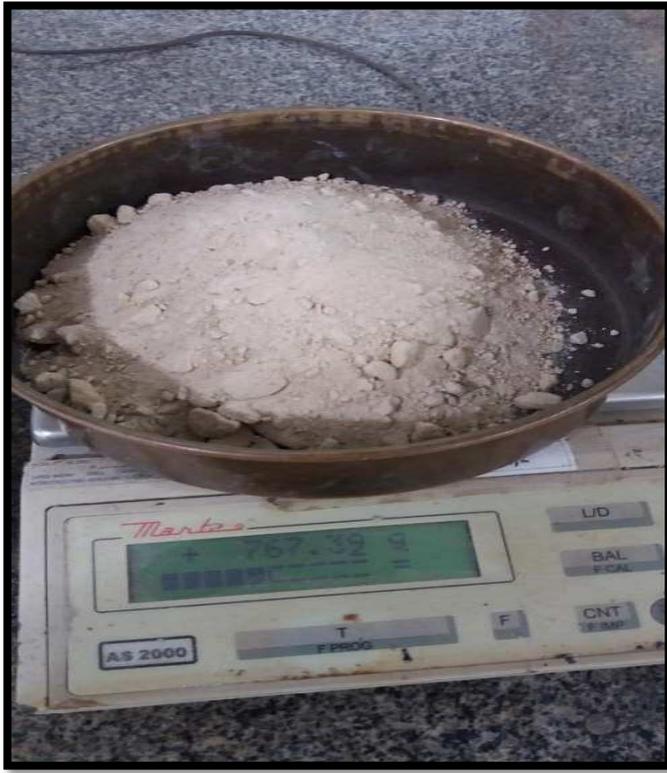
Figura 4.10 – Peneiramento por lavagem



Fonte: do Autor, 2017

A amostra utilizada foi de 1500 g do solo estudado. Após a eliminação das partículas menores que 0,075 mm pela lavagem, seca-se as partículas de areia remanescentes na estufa (nas condições supracitadas) para que, então, a sua massa seja aferida.

Figura 4.11 – Porção de solo sem grãos menores que 0,075 mm



Fonte: do Autor, 2017

A amostra não passante na peneira n.º 200 representou uma massa de 767,39 g, representando 51,16 % do total de 1500 g lavados. Sendo assim, conclui-se que as partículas finas do solo, menores que 0,075 mm, representam 48,84 %. Neste sentido, o solo está de acordo com o segundo requisito da Tabela 4.2.

Tabela 4.3 – Percentual de finos do solo utilizado

Amostra	Massa (g)	%
Total	1500	100
Retida na peneira n.º 200	767,39	51,16
Passante na peneira n.º 200	732,61	48,84

Fonte: do Autor, 2017

Em seguida, após o destorroamento da amostra não passante, foi realizado um levantamento granulométrico, por meio de peneiramento, da mesma. Foram utilizadas as peneiras com abertura de 2,0 – 1,18 – 0,60 – 0,425 – 0,30 – 0,15 e 0,075 mm.

Figura 4.12 – Série de peneiras



Fonte: do Autor, 2017

O resultado foi acrescentado ao do peneiramento por lavagem e encontra-se na tabela a seguir:

Tabela 4.4 – Análise granulométrica do solo utilizado (continua)

Abertura (mm)	Massa retida (g)	% que passa
2,00	0	100%
1,18	3,88	99,74%
0,60	19,60	98,43%

Tabela 4.4 – Análise granulométrica do solo utilizado (continuação)

Abertura (mm)	Massa retida (g)	% que passa
0,425	7,30	97,94%
0,30	48,62	94,70%
0,15	584,34	57,08%
0,075	123,65	48,84%

Fonte: do Autor, 2017

Limites de Consistência

O próximo enquadramento na Tabela 4.3 a ser verificado diz respeito aos limites de consistência do solo: o Limite de Liquidez e o Índice de Plasticidade.

Figura 4.13 – Materiais para ensaios de determinação dos limites de consistência do solo

Fonte: do Autor, 2017

O primeiro passo foi separar a cerca de 200 g de parte da amostra que passa na peneira de abertura 0,425 mm.

O primeiro ensaio realizado foi o de Limite de Liquidez. O ensaio consiste em preparar-se uma pasta homogênea com o solo e água destilada para que se possa preencher a concha do aparelho Cazagrande, e nele fazer-se uma canaleta com o cinzel. Após esse preparo são anotados os golpes necessários para que os dois lados da massa se encontrem. O solo é retirado do centro da concha para que seja pesado e levado à estufa para a aferição da umidade naquele momento. Essa sequência é repetida pelo menos cinco vezes com diferentes umidades da massa solo-água (segundo DNER – ME 122/94).

Figura 4.14 – Execução do ensaio de Limite de Liquidez



Fonte: do Autor, 2017

Após a realização do ensaio, anotaram-se os seguintes resultados:

Tabela 4.5– Dados para obtenção do Limite de Liquidez (continua)

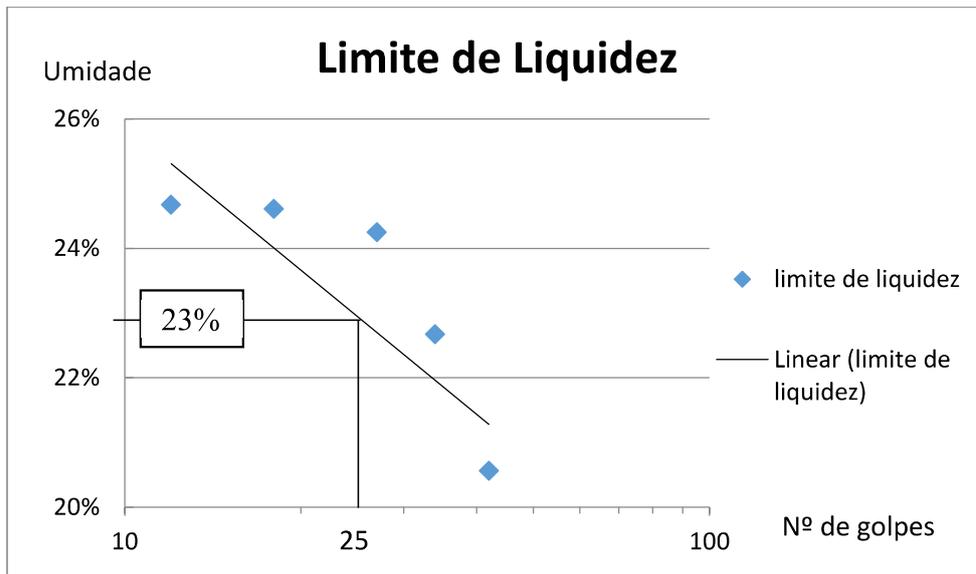
Limite de Liquidez					
Cápsula	34	41	27	36	18
Tara (g)	4,20	4,30	4,30	4,10	4,50

Tabela 4.5 – Dados para obtenção do Limite de Liquidez (continuação)

Limite de Liquidez					
Cápsula	34	41	27	36	18
Cápsula + Solo Úmido (g)	22,90	20,00	24,80	22,50	26,20
Cápsula + Solo Seco (g)	19,20	16,90	20,80	19,10	22,50
Peso solo úmido (g)	18,70	15,70	20,50	18,40	21,70
Peso solo seco (g)	15,00	12,60	16,50	15,00	18,00
Umidade	24,67%	24,60%	24,24%	22,67%	20,56%
Número de Golpes	12	18	27	34	42

Fonte: do Autor, 2017

Com estes resultados, foi possível elaborar-se uma curva e assim saber-se o Limite de Liquidez, verificando-se a umidade em um ponto projetado de 25 golpes.

Figura 4.15 – Gráfico do Limite de Liquidez

Fonte: do Autor, 2017

Portanto, o resultado encontrado para o Limite de Liquidez foi de 23 %, sendo menor que 45 e se encaixando com os requisitos da Tabela 4.2.

Em seguida, foi executado o ensaio de Limite de Plasticidade conforme a Norma DNER-ME 082/94.

Figura 4.16 – Execução do ensaio de Limite de Plasticidade



Fonte: do Autor, 2017

Após o ensaio, anotaram-se os seguintes resultados:

Tabela 4.6– Dados para obtenção do Limite de Plasticidade (continua)

Limite de Plasticidade					
Cápsula	24	1	18	4	5
Tara (g)	8,20	7,50	8,20	8,20	7,60
Cápsula + Solo Úmido (g)	11,19	10,25	11,07	10,65	9,88

Tabela 4.6 – Dados para obtenção do Limite de Plasticidade (continuação)

Limite de Plasticidade					
Cápsula	24	1	18	4	5
Cápsula + Solo Seco (g)	10,83	9,90	10,65	10,36	9,60
Peso solo úmido (g)	2,99	2,75	2,87	2,45	2,28
Peso solo seco (g)	2,63	2,40	2,45	2,16	2,00
Umidade	13,69%	14,58%	17,14%	13,43%	14,00%

Fonte: do Autor, 2017

O Limite de Plasticidade é dado pela média entre as umidades aferidas das amostras retiradas do ensaio, sendo, então calculado no valor de 14,57 %.

Conhecido o Limite de Plasticidade, é, então, possível calcular-se o Índice de Plasticidade, que é dado pela diferença entre LL e LP. Logo, ele é calculado pela diferença de 23 % – 14,57 %, sendo igual a 8,43 % e, portanto, menor que o máximo permitido segundo a tabela 4.2.

Após os resultados acima, pode-se concluir que o solo estudado é próprio para a mistura solo-cimento para tijolos utilizados em alvenaria de vedação.

4.2.2.2 Cimento

O cimento utilizado neste trabalho foi o CP-II-32-RS da marca Poty.

4.2.2.2 Grau de Compactação

Antes de dar início à definição de traços e moldagem de corpos de prova, determinou-se necessário o estudo do grau de compactação tanto do solo como da mistura solo-cimento, para que se trabalhasse com mais precisão a faixa de umidade da mistura solo-pet-cimento.

Os ensaios foram feitos de acordo com a ABNT NBR 7182:1986, utilizando-se o cilindro pequeno, energia normal com 3 camadas de 26 golpes.

Figura 4.17 – Cilindros para o ensaio de compactação



Fonte: do Autor, 2017

De início, fez-se se o ensaio com o próprio solo. Após a compactação e a secagem das amostras, os seguintes resultados foram anotados:

Tabela 4.7– Dados para obtenção do grau de compactação do solo (continua)

MOLDE	Capsula (g)	Capsula com Solo Úmido (g)	Capsula com Solo Seco (g)	Peso do Solo Úmido (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)
1	17,6	85,1	80,2	67,5	62,6	7,83
2	16,1	99,1	92,6	83	76,5	8,5

Tabela 4.7 – Dados para obtenção do grau de compactação do solo (continuação)

MOLDE	Capsula (g)	Capsula com Solo Úmido (g)	Capsula com Solo Seco (g)	Peso do Solo Úmido (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)
3	18,6	87,6	81,8	69	63,2	9,18
4	20,3	96	86,6	75,7	66,3	14,18
5	18,4	120,6	106,8	102,2	88,4	15,61

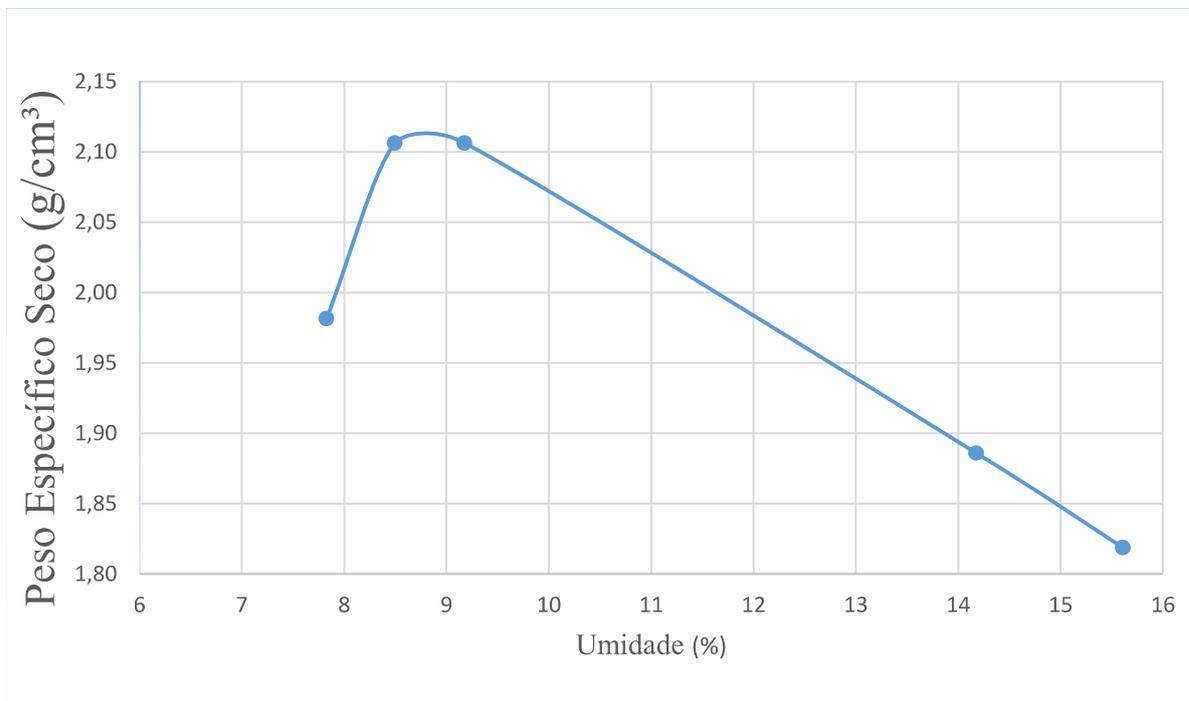
Fonte: do Autor, 2017

Anotando-se o peso de cada cilindro com solo compactado e conhecendo-se as suas dimensões, foi possível determinar o peso aparente seco para cada umidade e assim desenhar-se a curva de compactação.

Tabela 4.8 – 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 (cm³)	Peso Específico Natural (g/cm³)	Peso Específico Seco (g/cm³)
MOLDE 1	10,12	11,65	1963,1	3965,3	937,08	2,14	1,98
MOLDE 2	10,12	11,65	1963,1	4104,7	937,08	2,29	2,11
MOLDE 3	10,12	11,65	1963,1	4118,1	937,08	2,30	2,11
MOLDE 4	10,12	11,65	1963,1	3980,9	937,08	2,15	1,89
MOLDE 5	10,12	11,65	1963,1	3933,4	937,08	2,10	1,82

Fonte: do Autor, 2017

Figura 4.18 – Gráfico de compactação do solo

Fonte: do Autor, 2017

Com base no gráfico, o Peso Específico Seco máximo desse solo é 2,12 g/cm³ e a umidade ótima está em torno de 8,75 %.

Para estudar-se a umidade ótima da mistura solo-cimento, começou-se com uma proporção de 1:14, traço mais pobre sugerido pela ABCP (1988) para a mistura solo-cimento. O resultados do ensaio de compactação encontram-se a seguir:

Tabela 4.9 – Dados para obtenção do grau de compactação do solo-cimento traço 1:14

Molde	Capsula (g)	Capsula com Solo Úmido (g)	Capsula com Solo Seco (g)	Peso do Solo Úmido (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)
1	17,4	96,9	90,3	79,5	72,9	9,05
2	18,4	110,5	102,1	92,1	83,7	10,03
3	19,9	100,6	92,7	80,7	72,8	10,85
4	18,2	105	95,3	86,8	77,1	12,58
5	15,9	107,3	96,1	91,4	80,2	13,96

Fonte: do Autor, 2017

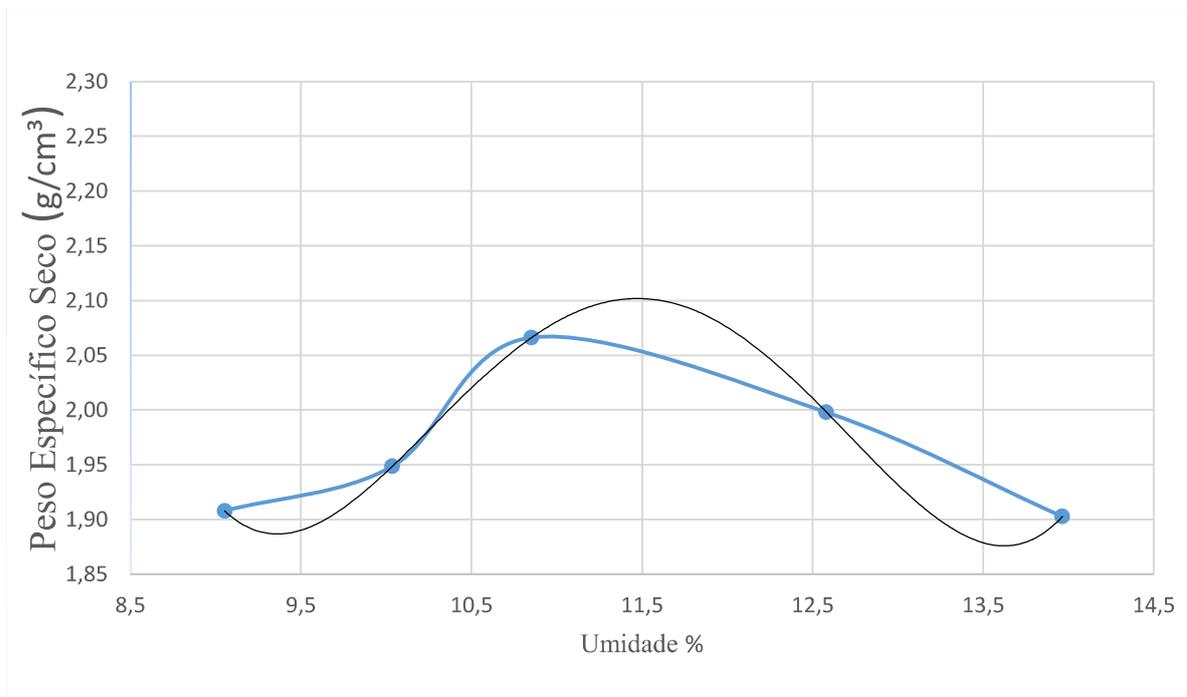
Com as umidades e os pesos dos moldes cilíndricos com solo compactado, faz-se novamente a curva de compactação:

Tabela 4.10 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo-cimento 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	10,12	11,65	1953,6	3903,2	937,08	2,08	1,91
Molde 2	10,12	11,65	1953,6	3962,8	937,08	2,14	1,95
Molde 3	10,12	11,65	1953,6	4099,8	937,08	2,29	2,07
Molde 4	10,12	11,65	1953,6	4061,4	937,08	2,25	2,00
Molde 5	10,12	11,65	1953,6	3985,5	937,08	2,17	1,90

Fonte: do Autor, 2017

Figura 4.19 – Gráfico de compactação do solo-cimento traço 1:14



Fonte: do Autor, 2017

Com o auxílio de uma linha de tendência, podemos deduzir que o Peso Aparente Seco máximo para a mistura solo-cimento 1:14 é 2,10 g/cm³ e, ainda que sua umidade ótima é cerca de 11,5 %.

Apesar de saber-se, com base em outras pesquisas, que a umidade ótima da mistura solo-cimento pouco varia, fez-se, também, o estudo para uma mistura 1:10, demonstrando-se os resultados a seguir:

Tabela 4.11 – Dados para obtenção do grau de compactação do solo-cimento traço 1:10

Molde	Capsula (g)	Capsula com Solo Úmido (g)	Capsula com Solo Seco (g)	Peso do Solo Úmido (g)	Peso do Solo Seco (g)	Umidade (%)
1	17,5	103	95,74	85,5	78,24	9,27
2	20,5	118,7	109,92	98,2	89,42	9,81
3	18,4	104,9	94,33	86,5	75,93	13,92
4	18,8	97,5	87,45	78,7	68,65	14,63
5	16,1	90,5	79,89	74,4	63,79	16,63

Fonte: do Autor, 2017

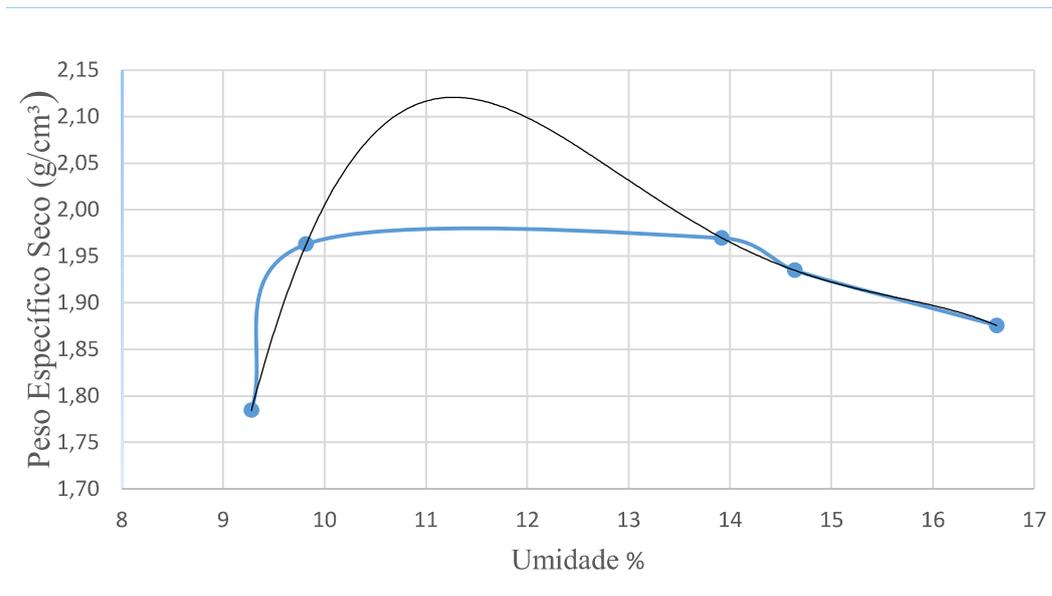
Com as umidades e conhecendo-se os pesos dos moldes cilíndricos com solo compactado, fez-se:

Tabela 4.12 – Dados para obtenção do Peso Específico Seco do solo-cimento 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 Específico Natural (g/cm ³)	Peso Específico Seco (g/cm ³)
Molde 1	10,07	12,62	1918	3878,1	1005,10	1,95	1,78
Molde 2	10,07	12,62	1918	4084,7	1005,10	2,16	1,96
Molde 3	10,07	12,62	1918	4173,2	1005,10	2,24	1,97
Molde 4	10,07	12,62	1918	4147,3	1005,10	2,22	1,93
Molde 5	10,07	12,62	1918	4116,8	1005,10	2,19	1,88

Fonte: do Autor, 2017

Figura 4.20 – Gráfico de compactação do solo-cimento traço 1:10



Fonte: do Autor, 2017

Com base nos resultados acima, o Peso Aparente Seco máximo da mistura solo-cimento 1:10 é de 2,12 g/cm³ e a umidade ótima está perto de 11,3 %, parâmetros suficientes para prosseguir-se com o estudo da mistura solo-pet-cimento.

4.3 MISTURA SOLO - PET- CIMENTO

Depois de todos os estudos anteriores, deu-se início ao objetivo central deste trabalho: a mistura solo-pet-cimento. Uma vez que se tem um solo próprio para a confecção de tijolo ecológico e uma boa ideia de como se comporta a umidade ótima da mistura, prosseguiu-se para o início da moldagem dos corpos de prova.

A princípio, era preciso definir-se os traços que seriam estudados. A ABCP sugere que se trabalhe entre os traços 1:7 (mais forte) e o 1:14 (mais fraco), com um estudo de um intermediário 1:10. Como o solo possui um grande percentual de finos, e quanto mais arenoso melhor o solo para o tijolo ecológico, resolveu-se optar pelo estudo do traço mais forte (1:7) e do intermediário (1:10).

Em seguida, escolheu-se por fazer corpos de prova sem adição de PET e, em seguida, substituir o solo por PET triturado nas proporções de 5 % e 10 % em cada traço, nomeando-os para fins de organização. Resume-se na tabela a seguir:

Tabela 4.13 – Traços propostos para a pesquisa

Traço	Composição		
	Solo	PET	Agregado-Cimento
T1	100 %	0 %	1:7
T2	100 %	0 %	1:10
T3	95 %	5 %	1:7
T4	95 %	5 %	1:10
T5	90 %	10 %	1:7
T6	90 %	10 %	1:10

Fonte: do Autor, 2017

Para a confecção dos corpos de prova, devido à pouca quantidade de PET triturado conseguido, utilizou-se equipamento de compactação em miniatura, utilizado no ensaio de Mini-MCV.

Figura 4.21 – Equipamento de compactação em miniatura



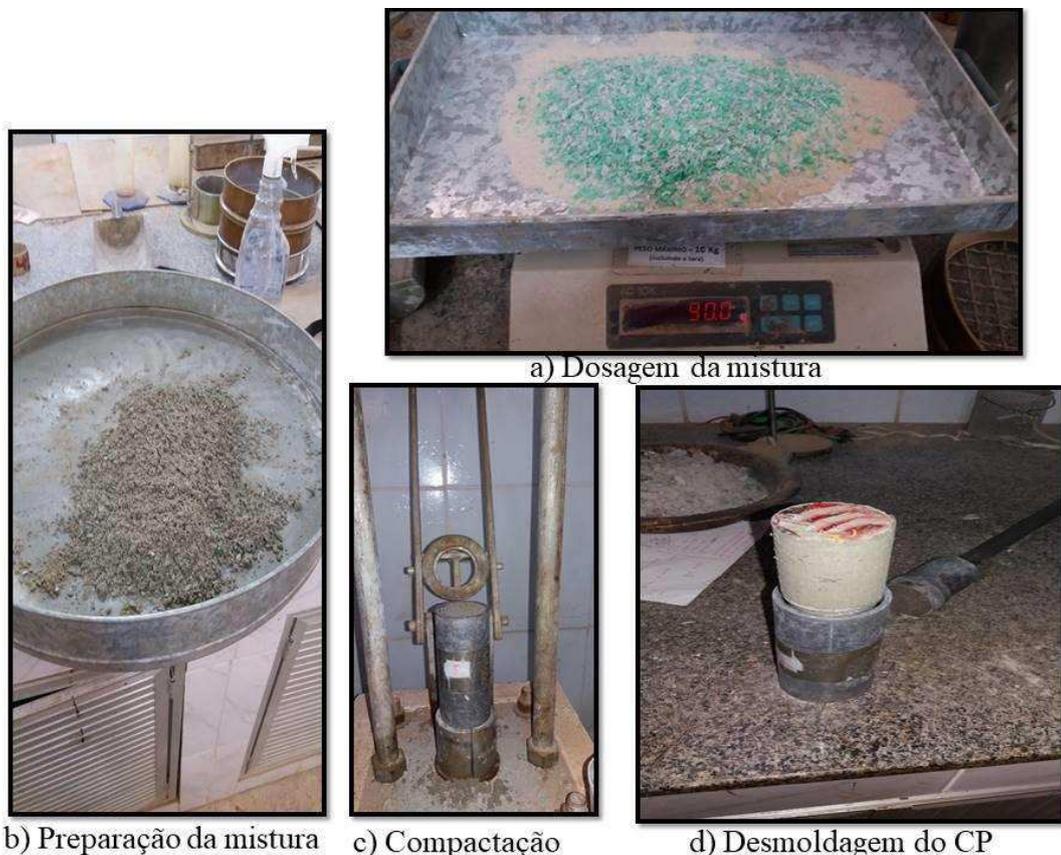
Fonte: do Autor, 2017

Após alguns testes, definiu-se a energia de compactação ideal de 27 golpes, baseada no ensaio de Mini-MCV, onde o número ideal de golpes é quando já não há mais deformação sensível no corpo de prova (menor que 2 mm). A umidade ótima foi determinada em torno de 13 %, baseada: nos ensaios de compactação demonstrados anteriormente; no comportamento da mistura conforme a umidade; solos com maior índices de finos precisam de mais água para melhor se compactarem; em uma maior umidade para melhor hidratação do cimento.

Decidiu-se, conforme as limitações de quantidade de material, confeccionar o total de 4 corpos de prova para cada traço, sendo 3 destinados ao ensaio de compressão e um ao ensaio de absorção de água.

Em seguida, deu-se início ao processo de mistura e compactação da mesma. Na adição de água à mistura, tomou-se o cuidado de molhá-la por meio de um borrifador de água, para que não se formassem grumes na mistura e houvesse uma perfeita homogeneização da mesma.

Figura 4.22 – Sequência de fabricação dos corpos de prova



Após a compactação, os corpos de prova foram enumerados de 1 a 24, conforme a tabela a seguir:

Tabela 4.14 – Rastreamento dos corpos de prova de acordo com o traço

Traço	Denominação			
T1	CP1	CP2	CP3	CP4
T2	CP5	CP6	CP7	CP8
T3	CP9	CP10	CP11	CP12
T4	CP13	CP14	CP15	CP16
T5	CP17	CP18	CP19	CP20
T6	CP21	CP22	CP23	CP24

Fonte: do Autor, 2017

Após a Desmoldagem, os corpos de prova foram submetidos a um período de cerca de 24h em repouso para que se desse o processo de pega do cimento. Após a pega, foram submersos em água, para a manutenção da umidade favorecendo a hidratação do concreto, até que se completasse os 7 dias de cura para os ensaios de compressão e absorção de água.

Figura 4.23 – Corpos de prova em processo de cura



Fonte: do Autor, 2017

Após a cura, aos sete dias, os corpos de prova foram separados para os seus respectivos ensaios, sendo 6 deles escolhidos aleatoriamente para o ensaio de absorção de água e 18 restantes para o ensaio de resistência à compressão, conforme a tabela a seguir:

Tabela 4.15 – Rastreamento dos corpos de prova conforme o ensaio

Traço	Resistência à Compressão	Absorção de Água
T1	CP2 – CP3 – CP4	CP1
T2	CP6 – CP7 – CP8	CP5
T3	CP9 – CP11 – CP12	CP10
T4	CP14 – CP15 – CP16	CP13
T5	CP17 – CP18 – CP19	CP20
T6	CP21 – CP22 – CP24	CP23

Fonte: do Autor, 2017

4.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para o ensaio de resistência à compressão, os corpos de prova após serem retirados da submersão, foram colocados para secagem ao ar livre.

Figura 4.24 – Corpos de prova secando ao ar livre



Fonte: do Autor, 2017

Uma vez secos, os corpos de prova foram submetidos a um processo de capeamento com uma pasta de cimento de gesso (traço 1:1) em ambas as faces, para um melhor nivelamento e, conseqüentemente, um melhor desempenho na prensa.

Figura 4.25 – Sequência de capeamento dos corpos de prova



a) Capeadora

b) Capeamento

c) CPs capeados

Fonte: do Autor, 2017

Após a secagem da massa capeadora (cerca de 24h), os CPs foram submetidos à prensagem para que se descobrisse a resistência à compressão de cada um deles.

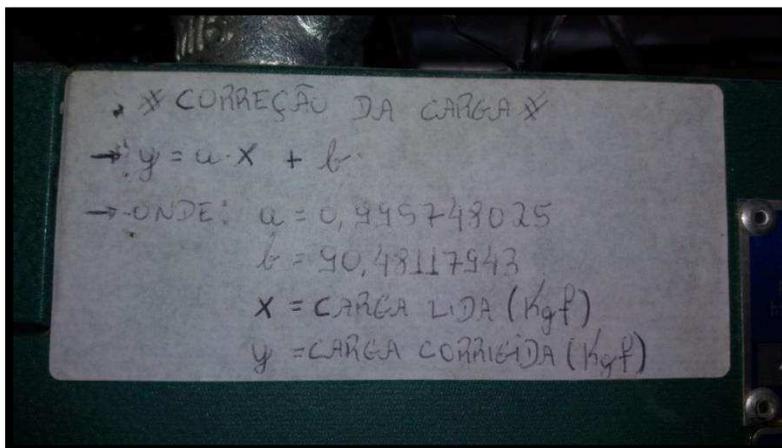
Figura 4.26 – Execução do ensaio de compressão e corpos de prova deformados



Fonte: do Autor, 2017

A máquina fornece a força máxima (em Tf) que o corpo de prova resistiu até se romper. Após aferir-se o valor de cada um deles, foi preciso corrigir a força conforme uma fórmula fornecida pela própria máquina.

Figura 4.27 – Fórmula para correção da leitura da prensa



Fonte: do Autor, 2017

Deste modo, sabendo-se que pressão corresponde a uma força distribuída em determinada área, e com os diâmetros de cada CP previamente aferidos, foi possível determinar a resistência à compressão simples de cada um deles, organizados na tabela a seguir:

Tabela 4.16 – Resultados do ensaio de resistência à compressão

Traço	CP	Diâmetro (mm)	Força Máx. Lida (tf)	Força Máx. Corrigida (tf)	Área da Seção (cm ²)	Resistência à Compressão (MPa)	Média (MPa)
T1	2	49,65	0,92	1,006569362	19,36	5,10	4,88
T1	3	49,76	0,86	0,946824481	19,45	4,77	
T1	4	49,7	0,86	0,946824481	19,40	4,78	
T2	6	49,72	0,83	0,91695204	19,42	4,63	4,38
T2	7	50,12	0,77	0,857207159	19,73	4,26	
T2	8	50,03	0,77	0,857207159	19,66	4,27	
T3	9	49,94	0,79	0,877122119	19,59	4,39	4,21
T3	11	50,82	0,78	0,867164639	20,28	4,19	
T3	12	50,43	0,74	0,827334718	19,97	4,06	
T4	14	50,55	0,72	0,807419757	20,07	3,94	3,88
T4	15	49,9	0,7	0,787504797	19,56	3,95	
T4	16	50,09	0,67	0,757632356	19,71	3,77	
T5	17	50,02	0,69	0,777547317	19,65	3,88	3,82
T5	18	50,16	0,66	0,747674876	19,76	3,71	
T5	19	50,27	0,7	0,787504797	19,85	3,89	
T6	21	50,12	0,64	0,727759915	19,73	3,62	3,33
T6	22	50,08	0,55	0,638142593	19,70	3,18	
T6	24	50,67	0,57	0,658057554	20,16	3,20	

Fonte: do Autor, 2017

4.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para o ensaio de absorção de água, os corpos de prova foram submetidos a um processo de secagem por estufa por 24 horas à temperatura 110 °C de e, em seguida, uma imersão em água por um período de 24 horas.

Figura 4.28 – Corpos de na estufa e depois imersos em água



Fonte: do Autor, 2017

Para a verificação, aferiu-se os valores dos pesos dos CPs logo após a secagem na estufa e depois da imersão, tomando-se cuidado para retirar a água superficial do CP com o auxílio de um pano enxuto. Feito isto, obteve-se os resultados apresentados na seguinte tabela:

Tabela 4.17 – Resultado do teste de absorção de água

Traço	CP	Peso Seco (g)	Peso Úmido (g)	Absorção de Água
T1	1	245,8	268,9	9,40%
T2	5	198,13	217,7	9,88%
T3	10	228,28	254,26	11,38%
T4	13	211,74	234,9	10,94%
T5	20	195,15	221,99	13,75%
T6	23	197,23	225,3	14,23%

Fonte: do Autor, 2017

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Conforme os ensaios realizados ao longo desta pesquisa, foi possível obter-se os parâmetros de limites de consistência do solo, podendo-se, assim classifica-lo como aceitável ou não aceitável. Limite de Liquidez encontrado foi de 23 %, abaixo do valor máximo aceitado para os fins deste estudo: 45 %. Com o Limite de Plasticidade na faixa de 14,43 %, obteve-se o Índice de Plasticidade do solo no valor de 8,67 %, também inferior ao máximo permitido para tijolos de solo-cimento: 18 %.

Tabela 5.1 – Análise do resultado dos limites de consistência do solo

	Encontrado	Requisito
Limite de Liquidez	23 %	≤ 45 %
Índice de Plasticidade	8,67 %	≤ 18 %

Fonte: do Autor, 2017

5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Com a análise granulométrica feita no solo estudado, constatou-se que 100 % do seus grãos passaram na peneira de abertura 4,8 mm. Na análise quanto à peneira de 0,075 mm, verificou-se que 48,84 % dos grãos eram menores que 0,075 mm, resultado satisfatório que classifica o solo estudado como próprio ao uso para a fabricação de tijolos de solo cimento.

Tabela 5.2 – Análise dos resultados de análise granulométrica do solo

Abertura	% que passa	Requisitos
4,8 mm	100	100 %
0,075 mm	48,84	Entre 10 % e 50 %

Fonte: do Autor, 2017

5.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os resultados de resistência à compressão foram bastante satisfatórios e sua distribuição esperada conforme a dosagem de cada traço. A tabela a seguir apresenta a resistência média de cada traço e para os traços com PET na mistura foram adicionados os percentuais de perda de resistência pela adição de PET com relação ao seu respectivo traço sem PET.

Tabela 5.3 – Análise dos resultados de resistência à compressão

Traço	Cimento-Agregado	% de Solo Substituída por PET	Resistência Média à Compressão (MPa)	Perda de Resistência por Adição de PET
T1	1:7	-	4,88	-
T3	1:7	5 %	4,21	13,73 %
T5	1:7	10 %	3,82	21,72 %
T2	1:10	-	4,38	-
T4	1:10	5 %	3,88	11,41 %
T6	1:10	10 %	3,33	23,97 %

Fonte: do Autor, 2017

Logo, percebe-se que há uma perda de resistência devida à adição do PET, porém seu declínio é gradual. Então, considerando que o traço com a menor resistência ainda ficou

significativamente acima da mínima de 2 MPa, infere-se que é possível o estudo de uma dosagem com menos cimento ainda e mais PET com relação ao solo.

5.4 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os resultados obtidos para o teste de absorção de água também foram satisfatórios, todos ficando tranquilamente abaixo da média exigida de 20 %.

Tabela 5.4 – Análise dos resultados de absorção de água

Traço	Absorção de Água
T1	9,40 %
T2	9,88 %
T3	11,38 %
T4	10,94 %
T5	13,75 %
T6	14,23 %

Fonte: do Autor, 2017

Observando-se o resultado percebe-se que o aumento da absorção de água está mais relacionado à presença de PET na mistura do que a relação agregado-cimento.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar-se os resultados obtidos neste trabalho, podemos resumir os principais na tabela a seguir:

Tabela 6.1 – Resultados finais

Traço	Resistência à Compressão	Absorção de Água
T1	4,88 MPa	9,40 %
T2	4,21 MPa	9,88 %
T3	3,82 MPa	11,38 %
T4	4,38 MPa	10,94 %
T5	3,88 MPa	13,75 %
T6	3,33 MPa	14,23 %

Fonte: do Autor, 2017

Partindo do pressuposto que o objetivo do trabalho era estudar-se a utilização do PET em misturas de solo-cimento para tijolos prensados de alvenaria de vedação e verificando os resultados da pesquisa, conclui-se que existe a viabilidade técnica da substituição de parte do solo utilizado por PET triturado, melhor representado pelo Traço T6, que possui agregado composto por 10 % de PET e 90 % de solo, com um traço de 1:10 (cimento-agregado).

O estudo deixa, ainda, a possibilidade da elaboração de um traço com menos cimento e uma maior fração de solo substituído por PET, que pode ser obtido através dos mesmos procedimentos demonstrados neste trabalho.

6.2 PROPOSIÇÃO DE NOVOS TRABALHOS

Para a continuação deste estudo, poder-se-ia avaliar a viabilidade econômica do uso de PET em tijolo de solo-cimento como agregado miúdo.

O estudo do desempenho de um pano de parede feito com tijolo ecológico avaliando-se os seus principais parâmetros e índices físicos seria de grande feitio para a comunidade.

Seria interessante, ainda, propor um modelo de casa popular utilizando-se tijolos modulares.

REFERÊNCIAS

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

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais.** São Paulo, 1988. Publicações ABCP.

ABIPET. **Associação Brasileira da Indústria do PET.** Publicações ABIPET. Disponíveis em <<http://www.abipet.org.br>> Acesso em Novembro de 2017.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica: procedimento.** Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 12023 – Solo-cimento: ensaio de compactação. Método de ensaio,** Rio de Janeiro, 1992.

_____. **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 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento: especificação,** Rio de Janeiro, 1984.

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

ALBUQUERQUE, L. Q. C. et al. **Resistência à compressão de tijolos de solo-cimento fabricados com o montículo do cupim *Cornitermes cumulans* (Kollar, 1832).** Lavras, 2008. Artigo, 8p. Ciência e Agrotecnologia. Editora da Universidade Federal de Lavras, v. 32, n. 2. Disponível em <<http://hdl.handle.net/11449/5170>> Acesso em Outubro de 2017.

CERBISORIANI, Carimbos. **Tijolo ecológico.** Site da empresa Carimbos Cerbisoriani. Disponível em <www.cscarimbos.com.br/tijolo-ecologico/> Acesso em Outubro de 2017.

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

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.

FERREIRA, D. P. **Estudo do pó de serra gerado pelas serrarias como agregado miúdo à mistura solo-cimento na produção de tijolos prensados para alvenaria de vedação**. São Luís, 2007. 92p. Monografia (Graduação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual do Maranhão.

FIGUEIREDO, F. F. **O desenvolvimento da indústria da reciclagem dos materiais no Brasil: motivação econômica ou benefício ambiental conseguido com a atividade?** Barcelona, SCRIPTA NOVA, 2012. Revista Eletrônica de Geografia y Ciencias Sociales. Vol. XVI. Num. 387.

GOOGLE, Imagens. **Instalações construtivas em tijolos modulares**. Pesquisa por imagens no site Google. Disponível em <www.google.com> Acesso em Setembro de 2017.

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.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LACÔRTE, P. M. R. **Aproveitamento de resíduos na construção civil**. Belo Horizonte, 2013, 57p. Monografia (Especialização) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

NEVES, C. M. M. et al. **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. La Paz, 2009. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <<http://www.redproterra.org>>. Acessado em Novembro de 2017.

OLIVEIRA, J. R. et al. **Incorporação de resíduos sólidos de tornearias mecânicas na fabricação de tijolos de solo-cimento**. Sinop, 2014, 5p. Periódico Científico. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso.

RESÍDUO ALL. **Gerenciamento de resíduos. Por que separá-los é importante**. Site da empresa Resíduo All. Disponível em <<http://residuoall.com.br/tag/residuos-de-embalagens/>> Acesso em Novembro de 2017.

RRC PLÁSTICOS. **Madeira plástica.** Site da empresa RRC Plásticos LTDA. Disponível em <<http://rrcplasticos.com.br/madeira-plastica.aspx>> Acesso em Outubro de 2017.

RRC PLÁSTICOS. **Pisos intertravados.** Site da empresa RRC Plásticos LTDA. Disponível em <<http://rrcplasticos.com.br/pisos-intertravados.aspx>> Acesso em Outubro de 2017.

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

SILVA, A. P. J. **Apostila de mecânica dos solos.** Natal, 2009, 62p. Apostila. Universidade Potiguar.

SJÖSTRÖM, E. Service life of the building. In: **Application of the performance concept in building.** CIB: Tel Aviv, 1996

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.

PASTORE & FONTES. **Classificação e caracterização dos solos.** Apresentado para Universidade Paulista Tulio de Mesquita Filho, 2008. Disponível em <<http://slideplayer.com.br/slide/3982979/>> Acesso em Novembro de 2017.