

UNIVERSIDADE TIRADENTES
ENGENHARIA CIVIL

DÉBORA OLIVEIRA DE MATOS

**MOLDAGEM E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS
SUSTENTÁVEIS COM GARRAFAS PET PARA ALVENARIA DE HABITAÇÕES
POPULARES.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ARACAJU
2018

DÉBORA OLIVEIRA DE MATOS

**MOLDAGEM E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS
SUSTENTÁVEIS COM GARRAFAS PET PARA ALVENARIA DE HABITAÇÕES
POPULARES.**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação, do curso de Engenharia Civil
da Universidade Tiradentes– UNIT, como
requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel.

Orientadora: Prof^a. MSc. Andréa Quaranta
Barbosa

ARACAJU
2018

DÉBORA OLIVEIRA DE MATOS

**MOLDAGEM E ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE TIJOLOS
SUSTENTÁVEIS COM GARRAFAS PET PARA ALVENARIA DE HABITAÇÕES
POPULARES.**

Trabalho de Conclusão de
Curso, apresentado a
Universidade Tiradentes –
UNIT, como parte das
exigências para a obtenção do
título de Engenheira Civil.

_____, _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA

AVALIADOR 1: Prof^a Dr^oa Nayára Bezerra Carvalho

AVALIADOR 2: Prof^o Dr^o Anderson da Conceição Santos Sobral

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde e força concedidas, pelo dom da vida e por sempre estar guiando meus passos.

Aos meus pais, pela compreensão, pelo amor incondicional, pela preocupação, por terem me dado toda a base e educação necessárias para eu ser o que sou e por me darem força para conquistar meus ideais.

À minha orientadora Andréa Quaranta, pelo incentivo, confiança e, principalmente, por todo o compartilhamento de conhecimento.

À minha madrinha, por sempre estar ao meu lado torcendo e me encorajando.

À minha família, em geral, principalmente, aos meus primos, por entenderem que precisava me ausentar em certos momentos por causa dos estudos.

Aos meus amigos, os quais foram fundamentais nos momentos de crises e desesperos, em especial a Laura, Carla, Iago, João Victor, Fernanda, Renata, Silvia, Yamilla, Maisa, Camila, Rômulo, Paula, Joaquim, Paulo, Ernandes, Vinícius, Neviton, Arthurzinho, Matheus Matos, Thiago, Matheus Henrique, Layra, Bruna e Carol.

Aos meus companheiros de vida, por terem abdicado de um tarde para me dar auxílio na moldagem dos tijolos, Ana, Higor e Willys, sem vocês nada teria sido possível.

À todos os professores e aos funcionários do CTEA, pela paciência, pelos ensinamentos e pela troca de conhecimentos.

À Sérgio e a Paulo, por toda a resolução de problemas na universidade e pela conversa amiga.

À SEINFRA, por confiar, apoiar e me ensinar diariamente.

Obrigada!

RESUMO

O crescimento da economia e o avanço tecnológico possibilitaram transformações nos padrões de consumo social, refletindo no aumento da quantidade de resíduos sólidos despejados de forma incorreta nas cidades, provocado pelo grande consumo de bens materiais e de recursos naturais. Dessa forma, várias pesquisas têm sido realizadas no setor de reaproveitamento de resíduos sólidos, como a garrafa PET, transformando-os em insumos para a obtenção de materiais de construção civil de baixo custo, que poderão ser utilizados para a construção de habitações de interesse social, formando-se, assim, soluções ligadas ao desenvolvimento sustentável. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo propor a produção de tijolos de concreto sustentáveis com a incorporação de garrafas PET em sua composição para a execução de alvenarias de vedação, visando ao emprego em habitações de interesse social. Diante isto, na tentativa, tanto de buscar soluções para a destinação adequada deste resíduo quanto para o desenvolvimento de materiais de construção de menor custo, este trabalho avaliou a resistência dos tijolos fabricados com garrafas de PET como alternativa na construção civil. Para a execução da moldagem dos tijolos sustentáveis, foram desenvolvidos dois tipos, os quais seriam de encaixe, macho e fêmea. Assim, as garrafas PET foram inseridas de forma centralizada nos moldes de madeira, previamente projetados, que foram posteriormente preenchidos com concreto. Após a moldagem, os tijolos foram rompidos para a análise da resistência à compressão, onde os tijolos sustentáveis apresentaram resistências excelentes, estando acima dos valores exigidos pela norma dos blocos de cerâmica de vedação, obtendo-se um comparativo. Portanto, os métodos de estudo foram adequados para a obtenção de resultados satisfatórios, além de que o processo de fabricação é simples, podendo ser aplicado em projetos assistenciais, como o Minha Casa, Minha Vida, gerando sustentabilidade, emprego e renda.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Tijolo Sustentável, PET, Habitação de Interesse Social.

ABSTRACT

The growth of the economy and the technological advance made possible changes in social consumption patterns, reflected in the increase in the amount of solid waste disposed of incorrectly in the cities, caused by the great consumption of material goods and natural resources. In this way, several researches have been carried out in the solid waste reuse sector, such as the PET bottle, transforming them into low-cost building materials that can be used for the construction of affordable and social interested housing, thus forming solutions linked to sustainable development. Under this perspective, the purpose of this work is to propose the production of sustainable concrete bricks with the incorporation of PET bottles in its composition for the execution of masonry of fence, aiming the employment in dwellings of social interest. Given this, in an attempt to find solutions for the proper disposal of this waste and for the development of lower cost building materials, this work evaluated the resistance of bricks made with PET bottles as an alternative in civil construction. In order to perform the molding of the sustainable bricks, two types were developed, which would be docking, male and female. Thus, the PET bottles were centrally inserted into the previously designed wooden molds, which were then filled with concrete. After the molding, the bricks were broken for the analysis of the compressive strength. The sustainable bricks presented excellent resistance, being above the values required by the standard ceramic blocks, obtaining a comparative. Therefore, the study methods were adequate to obtain satisfactory results, besides the fact that the manufacturing process is simple, and can be applied in welfare projects, such as Minha Casa, Minha Vida, generating sustainability, employment and income.

Keywords: Sustainability, Sustainable bricks, PET, Dwellings of social interest.

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivos	16
1.1.1. Objetivo Geral	16
1.1.2. Objetivos Específicos	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Habitação Popular com Interesse Social	17
2.2. Alvenaria	18
2.2.1. Alvenaria de Vedação	19
2.2.1.1 Alvenaria de Vedação de Tijolo Cerâmico	22
2.3. Materiais Sustentáveis na Construção Civil	24
2.3.1. Garrafas PET	26
2.3.1.1 Reciclagem do PET	27
2.3.1.2 Aplicações do PET	29
2.4. Desempenho Termoacústico	30
2.4.1. Transferência de Calor entre o meio externo e interno à habitação	33
2.4.2. Interpretação Acústica em tijolos de vedação	34
2.5. Análise de Resistência Mecânica em Alvenarias de Vedação	34
2.6. Concreto	35
3. METODOLOGIA	39
3.1. Materiais utilizados na moldagem do tijolo de vedação de PET	39
3.1.1. Cimento CP II Z-32-RS	39
3.1.2. Areia Média Lavada	39
3.1.3. Brita 0	40
3.1.4. Água	40
3.1.5. Garrafa PET de 1L	40
3.1.6. Fôrma de Madeira	41
3.2. Processos de fabricação dos tijolos sustentáveis	42
3.2.1. Ensaios de caracterização dos materiais	42
3.2.1.1 Ensaio granulométrico da areia média	42
3.2.1.2 Ensaio granulométrico da brita 0	45
3.2.1.3 Módulo de Finura do Cimento	47
3.2.2. Dosagem do Concreto	49
3.2.3. Produção do tijolo sustentável de garrafa PET	51
3.2.3.1 Projeto	51
3.2.3.2 Fabricação dos tijolos sustentáveis	51
3.2.4. Ensaios	53
3.2.4.1 Ensaio de resistência à compressão	53

4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1.	Análise dos Ensaios de Caracterização dos Materiais.....	56
4.1.1.	Análise do Ensaio Granulométrico da Areia Média.....	56
4.1.2.	Análise do Ensaio Granulométrico da Brita 0.....	57
4.1.3.	Análise do Ensaio do Módulo de Finura do Cimento.....	59
4.2.	Análise do traço do concreto.....	60
4.3.	Análise do projeto.....	61
4.4.	Fabricação dos tijolos sustentáveis.....	64
4.5.	Resistência à compressão do tijolo sustentável.....	77
5.	CONCLUSÃO.....	86
6.	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	88
	REFERÊNCIAS.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conjunto Habitacional Centro Parque Lapa.....	19
Figura 2 – Alvenaria de Vedação Tradicional.....	20
Figura 3 – Alvenaria de Vedação Racionalizada.....	21
Figura 4 – Olaria no Paraná.....	23
Figura 5 – Resídua da Construção Civil.....	25
Figura 6 – Molécula de Politereftalato de Etileno (PET).....	26
Figura 7 – Fardos de Garrafa PET.....	28
Figura 8 – Evolução da Reciclagem do PET no Brasil.....	29
Figura 9 – Modelo adequado de Isolamento Acústico em Tijolos de Vedação.....	30
Figura 10 – Areia Média Lavada.....	39
Figura 11 – Brita 0.....	40
Figura 12 – Garrafa PET de 1L.....	41
Figura 13 – Folhas de Compensado Resinado.....	41
Figura 14 – 1000g de areia média colhida e pesada na balança digital.....	43
Figura 15 – Peneiras posicionadas na peneira vibratória de acordo com a ordem estabelecida pela Norma de Desempenho.....	44
Figura 16 – Material despejado no conjunto de peneiras.....	44
Figura 17 – Pesagem da brita 0 na balança analítica.....	46
Figura 18 – Peneiras em ordem crescente de diâmetro.....	47
Figura 19 – Colocação da brita 0 no sistema de peneiras.....	48
Figura 20 – 50g de CP II Z 32 RS.....	48
Figura 21 – Processo de golpes com o bastão na peneira.....	52
Figura 22 – Lavagem e retirada dos rótulos das garrafas PET.....	53
Figura 23 – Desmoldante para fôrmas de madeira.....	54
Figura 24 – Máquina ajustada e com o prato inferior colocado para a realização do ensaio.....	57
Figura 25 – Curva Granulométrica da Areia Média.....	58
Figura 26 – Curva Granulométrica da brita 0.....	59
Figura 27 – Valor da massa retida na peneira de nº 200 após o peneiramento.....	61
Figura 28 – Curva de <i>Abrams</i> com o fator água/cimento.....	62
Figura 29 - Desenvolvimento do projeto tijolo sustentável de garrafa PET de encaixe, modelo Macho.....	63

Figura 30 - Desenvolvimento do projeto tijolo sustentável de garrafa PET de encaixe, modelo Fêmea.....	63
Figura 31- (a) visualização do tijolo macho, (b) visualização do tijolo fêmea.....	63
Figura 32 - Execução dos cortes para a confecção das fôrmas prismáticas do tijolo reciclável de garrafa PET.....	64
Figura 33 - Peças cortadas com a medida exata do diâmetro da garrafa PET de 1 L.....	65
Figura 34 - Início da moldagem das fôrmas prismáticas.....	66
Figura 35 – (a) Peneiramento da areia média com o uso da sua respectiva peneira, (b) Peneiramento da brita 0 com o uso da sua respectiva peneira.....	67
Figura 36 - Materiais separados com as quantidades calculadas prontas para serem misturados no aparelho.....	68
Figura 37 - Concreto preparado sendo reservado na fôrma.....	69
Figura 38 - Concreto pronto para moldar os corpos de prova do tipo fêmea.....	69
Figura 39 – Realização do adensamento na primeira camada de concreto na fôrma de madeira.....	70
Figura 40 – Segunda camada de concreto com a colocação das garrafas PET.....	71
Figura 41 – Finalização da última camada de concreto do tijolo.....	71
Figura 42 – Garrafa preenchida com areia.....	72
Figura 43 – Tijolos do tipo fêmea preenchidos no interior das garrafas com areia, as quais foram fechadas com o fundo das mesmas.....	73
Figura 44 – Moldes identificados e colocados em local plano, de acordo com a norma, cumprindo a cura inicial.....	74
Figura 45 – Fôrma metálica com concreto moldado.....	75
Figura 46 – (a) Desmolde da fôrma com chave de fenda, (b) Fôrmas de madeiras sendo separadas.....	75
Figura 47– Tijolos de Garrafa PET desmoldados.....	76
Figura 48 – Tijolos recicláveis sendo previamente encaixados.....	76
Figura 49 – (a) Tanque de cura retangular, (b) Tanque de cura circular.....	77
Figura 50 – (a) Corte da parte da garrafa que ficou evidente no tijolo tipo fêmea, (b) Nivelamento das arestas do tijolo sustentável de garrafa PET.....	78
Figura 51 – Retificação do corpo de prova cilíndrico.....	78
Figura 52 – (a) Pesagem do tijolo 1/1 do tipo macho após dos 28 dias, (b) Pesagem do tijolo 3/2 do tipo fêmea também após dos 28 dias.....	79

Figura 53 – (a) Tijolo sustentável do tipo macho posicionado no equipamento, (b) Tijolo sustentável do tipo fêmea posicionado no equipamento.....	81
Figura 54 – Ruptura cisalhante no tijolo reciclável de PET.....	82
Figura 55 – Representação da resistência à compressão do Bloco 3/1 do tipo fêmea em toneladas força.....	82
Figura 56 – Garrafas PET intactas depois do recebimento de cargas.....	84
Figura 57 – Tijolos sustentáveis, macho e fêmea, encaixados.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria da Areia Média.....	56
Tabela 2 – Granulometria da Brita 0.....	58
Tabela 3 – Comparação dos valores dos pesos dos tijolos antes e depois da cura..	80
Tabela 4 – Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND

ABCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA

CBCS – CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM

GAP - Grupo de Arquitetura e Planejamento

IPEA- Instituto da Pesquisa Econômica Aplicada

MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S/A.

NBR – Norma Brasileira

PET – Polietileno Tereftalato

1. INTRODUÇÃO

Os recursos ambientais estão cada vez mais esgotados, apesar de ser praticamente impossível sobreviver sem esses produtos que a natureza oferece. Isso ocorre devido ao progresso, desenvolvimento econômico e às inovações tecnológicas que, juntos, fazem o consumo humano aumentar e também estimular a realização de ações cada vez mais poluidoras, gerando, assim, um crescimento contínuo na quantidade de descarte. A questão dos Resíduos da Construção Civil (RCC) tem sido amplamente discutida no Brasil pela alta taxa de geração, representando cerca de 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanos coletados por ano, segundo Marques (2005). No Nordeste, para Abrelpe (2013), a quantidade de resíduo sólido encontrado é de com 22.162 toneladas/dia. Assim, por conta desse aumento, a reciclagem vem se tornando uma das principais alternativas para um desenvolvimento sustentável, com o intuito de recuperar ou, até mesmo, de diminuir a quantidade de resíduos sólidos depositados sem o objetivo de reutilização.

A discussão sobre a sustentabilidade é resultado de uma longa evolução e percepção de que as ações humanas têm causado transformações não previstas na natureza. Dessa forma, observando-se o nicho da construção civil, que é um dos que mais retém resíduos sólidos, percebe-se que é possível incorporar certos produtos que demoram a degradar, nos elementos construtivos, tornando-os insumos. Contudo, um dos maiores problemas a ser enfrentado, é o desafio à criação de soluções adequadas para a destinação desses rejeitos urbanos gerados.

Logo, um desses desafios está diretamente ligado á inclusão dos resíduos em habitações de interesse social de populações de baixa renda. Com isso, torna-se necessário o crescimento de pesquisas inovadoras que reduzam os gastos de construções para essa população, podendo também incluir os resíduos nos elementos construtivos dessas habitações. Isso pode ser realizado com maior facilidade, pois, muitas vezes, a população de baixa renda usa como forma de trabalho o recolhimento de latas e de garrafas PET, por exemplo, que também são resíduos sólidos; o que confirma a grande quantidade desses elementos poluentes nas cidades. No Brasil, estima-se que o número de catadores de materiais recicláveis seja de aproximadamente 500.000 mil, reciclando 56 toneladas/ano de plástico, conforme dados do Ipea (2013).

As garrafas PET são produtos agressivos ao meio-ambiente devido a sua grande quantidade lançada em locais inadequados e sabendo-se que, além de tudo, os polímeros, de que são feitas, podem levar até 500 anos para degradarem-se, de acordo com Said (2003). O consumo de polímeros sintéticos, no Brasil, aumenta há décadas, numa evidente demonstração de que esses materiais obtiveram enorme sucesso em suas mais variadas aplicações. O resultado disso é a considerável proporção representada pelo PET na composição do lixo urbano e a crescente necessidade de sua reciclagem.

O crescimento na área dos compósitos poliméricos recicláveis deve-se ao fato do material apresentar boas propriedades físicas e mecânicas, podendo, os mesmos, terem diversas aplicações, que vão desde a fabricação de vassouras até a produção de carros.

Deste modo, a proposta do presente estudo é a de utilizar as garrafas PET, em seu formato original, na incorporação ao concreto, com a finalidade de desenvolver novas aplicações dos resíduos sólidos na construção civil, na forma de tijolos de vedação de concreto para a construção de elementos em habitações de interesse social.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Elaborar tijolos sustentáveis feitos com concreto e garrafas PET para incentivar a fabricação dos próprios elementos construtivos, juntamente com a retirada de resíduos sólidos das ruas, através da população de baixa renda, incluindo-os na elevação de habitações de interesse social.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Caracterizar os materiais a serem utilizados na moldagem do tijolo;
- b) Dimensionar o traço para fabricação do tijolo;
- c) Elaborar o projeto dos tijolos;
- d) Fabricar o bloco de concreto com a incorporação do insumo Garrafa PET;
- e) Analisar a resistência do bloco de PET, através do ensaio em laboratório;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Habitação Popular com Interesse Social

A habitação é um produto potencialmente durável e de fundamental importância para o bem-estar populacional, segundo Ornstein (1992). Porém, possui alto custo, o que implica na sua obtenção pela sociedade inserida nas classes menos privilegiadas. De acordo com Abiko (1995), a principal função de uma moradia é a de abrigar seus habitantes, diante disso, essa função deve ser sempre a mais importante da habitação, mesmo com a revolução tecnológica e com os inúmeros processos desenvolvidos para torná-la cada vez melhor.

Na década de 30, com o início do Governo Vargas, a transição econômica, modernizando a estrutura do país, a urbanização e o crescimento populacional, incentivaram o desenvolvimento dos primeiros projetos de habitações vinculados ao Estado, na visão do GAP (1985). Contudo, o Estado não intervia diretamente na construção de casas para os trabalhadores, privilegiando apenas as propriedades privadas. Segundo Bonduki (1982), a produção da moradia, nesse período, objetivava, pelo Estado, a conquista de rendimento através do investimento nas construções ou em aquisições de casas por aluguel.

Kowarick (1981) retrata que o crescimento populacional e urbano em constante ascensão, entre as décadas de 30 e 50, fez com que o número de brasileiros sem moradia adequada aumentasse ainda mais, incentivando a criação das habitações populares com Interesse Social, conhecida também como HIS, prosseguindo do surgimento de favelas. Para Fittipaldi (2009), a HIS, por ser um tipo de habitação voltada para populações com baixa renda econômica, torna-se diferente de qualquer outra construção para moradia, apesar de possuir o mesmo objetivo, o abrigo.

A Habitação Popular com Interesse Social não deve ser classificada apenas como um produto, mas também como um processo sócio-econômico, de acordo com OFF (1984), visto que surgiu de um complexo processo consequente da Revolução Industrial. Ou seja, ela não surgiu como política pública acabada. A HIS é, assim, um conjunto de ações para o tratamento da questão habitacional em nível nacional que consolidou um marco regulatório importante no país: a criação de autoconstruções realizadas pelos próprios moradores.

Em 2009, no Brasil, foi desenvolvido o Programa Minha Casa, Minha Vida, diante a visão de Maricato (2009), que pode ser classificado como um Programa Assistencial Mercantil. Visto isso, Buonfiglio (2018), afirma que o PMCMC é um Programa Nacional que não se inclui, necessariamente, na conjuntura de uma HIS, já que seu objetivo é o movimento de capital, apesar de assistir a população de baixa renda, podendo, assim, ser classificado como “híbrido”.

Atualmente, o cenário de habitações permanece precário para as populações de baixa renda, o que torna ainda maior o crescimento das HIS no país. Por conta do crescimento, as questões habitacionais ganharam mais visibilidade, porém ainda não são priorizadas em questões políticas.

2.2. Alvenaria

Segundo Duarte (1999), a alvenaria é considerada como um dos mais antigos sistemas construtivos desenvolvidos pelo homem. Ao analisar o histórico da alvenaria, evidencia-se que ela é utilizada desde os primórdios, contudo, com a evolução tecnológica, foi moldando-se e modernizando-se para poder englobar vários tipos de construções. Sabendo-se disso, Sabbatine (1984) define a alvenaria como elemento complexo de utilidade construtiva, composto de tijolos unidos entre si por juntas de argamassa.

Oliveira e Hanai (1998) evidenciaram que diante as variedades arquitetônicas e estruturais, reformuladas com o passar do tempo, a Indústria de Blocos surgiu e adaptou a alvenaria, tornando-a menos espessa, rígida ou pesada. A alvenaria tem como principais funções dividir o espaço, proteger contra ações do meio externo e, no geral, oferecer condições de resistência, durabilidade e impermeabilidade.

Para ABCI (1990), no Brasil, a história da alvenaria foi iniciada através das técnicas construtivas derivadas, em sua maioria, de Portugal. Os sistemas estruturais do país comparavam-se a técnicas construtivas de Taipa, as quais necessitavam de uma grande espessura de parede. Até o surgimento do tijolo, em São Paulo, como um elemento nobre estrutural que compõe a alvenaria, o qual permanece bastante presente na atualidade.

De acordo com Carvalho (1995), as décadas de 60 e 70 foram marcadas por intensas pesquisas e especializações no sistema de alvenaria, buscando adaptar e

melhorar as habitações, conforme ilustra a Figura 1. A dificuldade na construção civil objetivou a busca por um desenvolvimento de cálculo matemático que unisse resistência, racionalidade e redução de abalos sísmicos.

Figura 1 – Conjunto Habitacional Centro Parque Lapa



Fonte: Comunidade da Construção, 2010

Portanto, para Sabbatine (1984), a alvenaria pode ser classificada de acordo com a sua resistência às cargas, previamente definida em projeto: alvenaria estrutural e alvenaria de vedação. A primeira é destinada a absorver as cargas das lajes, sobrecarga e peso próprio, seguindo sempre para o dimensionamento, as instruções e recomendações das normas NBR 10837 e a NBR 8798. Já a segunda, trabalha no fechamento e separação dos ambientes, sem a preocupação com a resistência das cargas sob estrutura.

2.2.1. Alvenaria de Vedação

A alvenaria de vedação é definida, segundo Lordsleem Júnior (2004), como parte do segmento de verticalização da estrutura que não é dimensionado com a função de resistir a carregamentos além do próprio peso. Atualmente, de acordo com a NBR 15575, foi analisado que ela também resiste a cargas suspensas nas paredes. Para Thomaz (2001), a vedação vertical é responsável pelo processo de

fechamento de vãos de paredes, o que pode garantir a segurança. Além de dividir ambientes, protegendo-os de intempéries ambientais internas e externas.

De acordo com a visão de Barros (1998), nesse tipo de alvenaria podem-se realizar cortes sem que haja prejuízo no cumprimento da funcionalidade da estrutura, já que lajes, vigas e pilares são dimensionados para resistir aos demais esforços solicitantes. Por conta dessa vantagem, ainda segundo o autor, para a realização de reformas (cortes), por exemplo, é comumente visível que ocorra um processo não racional de execução da alvenaria de vedação, ou seja, um processo com desperdício e mal planejamento das partes dos elementos que serão retirados.

Para Sabbatine (1984), a alvenaria de vedação tradicional (Figura 2), a que não é comumente racionalizada, tem como objetivo manter uma relação positiva do custo-benefício, juntamente com a eficiência e qualidade dos materiais nela usados. Porém, como não apresenta projeto, ou seja, ainda é um elemento construtivo rudimentar, permite que ocorram improvisos na execução; além de grande desperdício de material por conta das quedas e, conseqüentemente, ruptura do mesmo. Isso tudo, de acordo com os estudos do autor, gera ainda o mau assentamento das peças, já que muitas vezes a execução desses blocos não é a melhor realizada.

Figura 2 – Alvenaria de Vedação Tradicional



Fonte: Téchne, 2006

A alvenaria de vedação tradicional, segundo Barros (1998), apresenta as seguintes características:

- i) Boa a excelente Durabilidade;
- ii) Bom desempenho Termoacústico;
- iii) Boa estanqueidade à água;
- iv) Boa resistência ao fogo;
- v) Excelente resistência mecânica.

Diante da evolução tecnológica, por volta da década de 90, de acordo com os estudos de Sala (2008), a construção civil precisou investir em programas de desenvolvimento tecnológico. Esses projetos alavancaram a busca pela otimização e racionalização da alvenaria, surgindo assim o conceito de alvenaria de vedação racionalizada, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Alvenaria de Vedação Racionalizada



Fonte: Esquaadrias, 2014

Dessa forma, segundo Soares (2008), a racionalização é a medida que contribui para que ações contra o desperdício de tempo e de materiais dentro da construção civil sejam desenvolvidas. Além disso, tornar prática o uso de processos que utilizem, de forma prioritária, sistemas lógicos e resolutivos.

Santos (2010) afirma que para a implantação de qualquer projeto de racionalização, deve-se, inicialmente, priorizar a estrutura da edificação e, em seguida, a alvenaria de vedação. De acordo com ele, o subsistema de vedação vertical interfere diretamente nos demais subsistemas da construção como, por exemplo, revestimento, impermeabilização, instalações elétricas e hidrossanitárias, esquadrias, entre outros.

Para Barros (1998), a alvenaria de vedação racionalizada configura-se de acordo com os objetivos indicados no Quadro 1:

Quadro 1 – Objetivos da Alvenaria de Vedação Racionalizada

OBJETIVOS
Eliminar ações decididas exclusivamente no canteiro de obras no momento da realização dos serviços de alvenaria;
Criar e planejar previamente o projeto de alvenaria;
Introduzir o uso de ferramentas mais tecnológicas que possam otimizar o tempo da obra;
Treinar os funcionários com o intuito de desenvolver técnicas adequadas e ágeis para a realização das respectivas funções na obra;
Utilizar materiais de qualidade como os tijolos de furos verticais, os quais permitem a fácil passagem das instalações;
Melhorar as condições de limpeza e organizar o canteiro de obra.

Fonte: Adaptado de Barros (1998)

Soares (2008) ainda afirma que, evidencia-se que a verticalização da alvenaria de vedação pode ser realizada de formas mais rústicas ou mais tecnológicas, pensando no custo-benefício e na redução dos descartes ao meio ambiente.

2.2.1.1. Alvenaria de Vedação de Tijolo Cerâmico

O tijolo cerâmico de vedação, de acordo com a NBR 15270, é o componente da alvenaria que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contém e

deve ser fabricado por conformação plástica de insumo argiloso, possuindo ou não aditivo, e queimando a altas temperaturas.

Segundo Mineropar (2000), a argila é a principal matéria-prima utilizada na produção do tijolo cerâmico. Trata-se de um material natural, de estrutura terrosa e de textura fina. Para Bellingieri (2003), a história da fabricação da cerâmica vermelha no Brasil teve início no século XIX com a grande influência europeia e surgimento das Olarias (Figura 4). Ele afirma que o produto disseminou-se rapidamente, devido à facilidade de execução da alvenaria e garantia de conforto termoacústico. Além disso, evidencia que a indústria moldou o formato, furos e dimensões, por exemplo, dos blocos cerâmicos a partir da diversificação deles.

Figura 4 – Olaria no Paraná



Fonte: Tribuna PR, 2015

O processo de fabricação do tijolo cerâmico para alvenaria de vedação, de acordo com Nunes (2012) consiste em: extração, moldagem, secagem e queima. A extração da argila, para Oliveira e Maganha (2006), é realizada por meio da mineração, já que é um material encontrado em minerais filossilicatos - silicatos que formam lâminas. Como a argila é encontrada em um mineral, a homogeneização, desagregação e moimento da matéria-prima são realizados na própria área de minérios. E, assim, posteriormente, classificada e purificada conforme sua granulometria.

Para Gricoletti (2001), a moldagem é relacionada ao teor de água contido na pasta de argila, pasta formada após os processos de extração. Sabendo-se disso,

quanto maior a quantidade de água existente na pasta, maior a plasticidade e mais fácil torna-se a moldagem, causando uma redução no consumo de energia. Concluída tal etapa, inicia-se a secagem, a qual é uma das mais importantes do processo de fabricação do tijolo cerâmico, pois se precisa de cuidado para que a água seja eliminada de maneira lenta e uniforme, TAPIA (2000).

Durante o processo de queima, para o SEBRAE (2008), o produto é submetido ao forno para que possa, finalmente, adquirir as propriedades e características desejadas, respeitando a Norma Técnica: NBR-15270-1. Dessa forma, evidencia-se que para que o tijolo cerâmico atenda tanto às normas, quanto as propriedades almejadas, faz-se necessário que o processo de fabricação seja realizado dando seguimento a todas as etapas.

Assim, Nunes (2012) afirma que é visível que a grande necessidade de materiais, por conta do crescente desenvolvimento da construção civil, faz a quantidade de extração da argila também aumentar; tornando importante o início de estudos que estimulem a utilização de outros materiais viáveis para a construção. Esses materiais devem estar relacionados com os impactos ambientais e avaliação da sua extração até a sua comercialização.

2.3. Materiais Sustentáveis na Construção Civil

Segundo Corrêa (2009), a sustentabilidade é entendida como um conjunto de princípios básicos, abordagens e implicações que, juntos, englobam visibilidade econômica, adequação ambiental, aceitação cultural e justiça social. Godoy (2009) enfatiza que o desenvolvimento sustentável exige uma mudança no crescimento, a fim de torná-lo menos intensivo em matérias primas e em energia, contudo mais equitativo em seu impacto.

Assim, por conta da maior visibilidade nos assuntos sustentáveis ligados diretamente à construção civil, de acordo com Jhon (2009), desenvolveu-se no Brasil, o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS (2009), que afirma ter como objetivo o uso sustentável dos materiais da construção civil, almejando redução dos impactos ao meio ambiente através da compra de produtos locais, menos agressivos e que possuam uma qualidade durável.

Além do CBCS, para que realmente exista um desenvolvimento sustentável, é necessário que os setores sociais e econômicos sejam integrados. Por conta

disso, de acordo com a Casa Civil (2010), em 2010 foi criada no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela lei nº 12.305/2010. Ela promove a prevenção e redução na geração de resíduos no país, Figura 5, estimulando a prática de ações sustentáveis: aumento de reciclagem e de reutilização desses resíduos, além da destinação final adequada dos mesmos.

Figura 5 – Resíduos da Construção Civil



Fonte: FortVigas, 2016

Os métodos construtivos, de acordo com Barbosa (2007), juntamente com os materiais provenientes da indústria produzem enormes quantidades de resíduos, os quais são difíceis de serem reincorporados à natureza. Por conta dessa dificuldade, ainda para o autor, os resíduos, muitas vezes, são armazenados em terrenos baldios, aterros clandestinos, margens de rios e, até mesmo, no perímetro urbano, prejudicando cada vez mais a estrutura ambiental do planeta.

Segundo Houben e Guillaud (1989) torna-se existente mais de 20 grupos de tecnologias de construção com terra, bambu, cimento ecológico, garrafa PET, entre outros materiais, denominados como materiais não convencionais. Porém, de acordo com Escariz (2008), o setor da construção civil apresenta dificuldade na inclusão de novas técnicas com o uso de materiais sustentáveis, já que o setor é refratário às mudanças, causando insegurança em relação ao comportamento desses novos materiais.

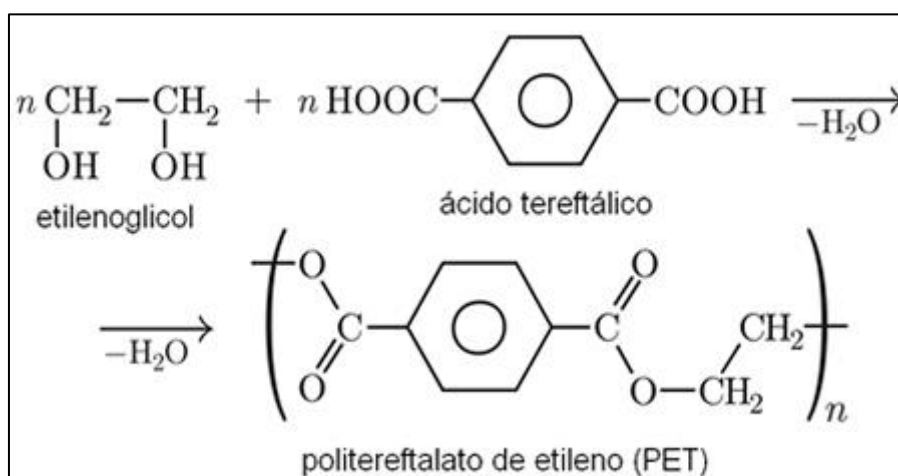
Apesar das dificuldades, segundo Barbosa (2005), com o desenvolvimento de projetos e leis sustentáveis, deu-se início ao estudo dos materiais não convencionais, já que são comumente encontrados disponíveis na natureza, sendo

muitos deles renováveis, tornando possível o surgimento de expectativas positivas ao uso deles.

2.3.1. Garrafas PET

O polímero de PET, ou seja, Politereftalato de Etileno, Figura 6, é um poliéster classificado, de acordo com Medeiros e Macedo (2006), como um termoplástico, já que não sofre alteração na estrutura molecular do aquecimento até a fusão. Além disso, pode ser denominado como uma das principais resinas de utilização e como o mais importante poliéster de comercialização. Paci e La Mantia (1998) afirmam que o PET tem particularidades como transparência, brilho, baixa permeabilidade e baixa densidade, além de ser 100% reciclável, o que o torna o mais adequado para a fabricação de embalagens.

Figura 6 – Molécula de Politereftalato de Etileno (PET)



Fonte: Mundo Educação, 2017

Para ABIPET (2011), o PET chegou ao Brasil em 1988, sendo utilizado a primórdio na indústria têxtil. Somente em meados de 1993 passou a ter visibilidade no mercado de embalagens, notadamente para os refrigerantes. Contudo, segundo Mateus (2009), o uso em grande escala das embalagens de PET, fez com que o mau descarte delas poluisse o ambiente. Isso porque o poliéster pode demorar cerca de 750 anos para ser degradado.

Dessa forma, Ecycle (2003) enfatiza que o microplástico de poliéster é tão abundante que já faz parte do ecossistema, contaminando peixes e outros animais, o que desregula completamente a cadeia alimentar e, conseqüentemente, a estabilidade ecológica.

Contudo, segundo a ABIPET (2011), a utilização de garrafa PET na construção civil pode proporcionar redução da poluição do ecossistema, visto que o poliéster pode ser utilizado como aditivo, material impermeabilizante elemento de melhoria de resistência, entre outros. Portanto, há uma solução para causar a redução do PET descartado, fazendo com que medidas recicláveis sejam desenvolvidas.

2.3.1.1. Reciclagem do PET

De acordo com Formigoni e Campos (2012), para que ocorram fixação e reconhecimento no mercado, onde o ambiente competitivo entre as empresas é cada vez maior, é necessário possuir vantagens diferenciadas, como o reaproveitamento e reciclagem dos produtos vendidos e consumidos. Assim, ainda segundo os autores, a reciclagem é considerada uma das maneiras alternativas de preservação do meio-ambiente dentro do conceito de sustentabilidade.

Diante da importância das questões ambientais juntamente com as mercantis, Awaja e Pavel (2005), afirmam que a indústria de reciclagem de PET começou porque o polímero possui baixa taxa de decomposição natural e, além disso, por conta da iniciação da Organização das Nações Unidas (ONU) em levantar como prioridade ambiental a reciclagem do plástico.

Segundo Mancini (2004), no início do processo de reciclagem, as embalagens de PET chegam à recicladora em fardos separados por cor e por componente (Figura 7), cada um pesando de 80kg a 90kg. Ou seja, as embalagens que contém produtos oleosos, por exemplo, são diferenciadas, já que demandam uma lavagem extra. Os fardos são passados por uma seleção para a retirada de impurezas, as quais podem ser dadas por outros plásticos, metais ou até mesmo produtos que estavam reservados nas embalagens.

Figura 7 – Fardos de Garrafa PET



Fonte: RECOPET, 2011

A questão da presença de impurezas ou contaminantes nas embalagens de PET, para Santos (2004), pode ser dividida em dois aspectos:

- i) Contaminação por materiais devidos à decomposição por polímero com o tempo e o uso;
- ii) Contaminação por migração para o recipiente, que é definido como o processo pelo qual o material sólido extrai componentes de uma mistura e os retém em sua estrutura.

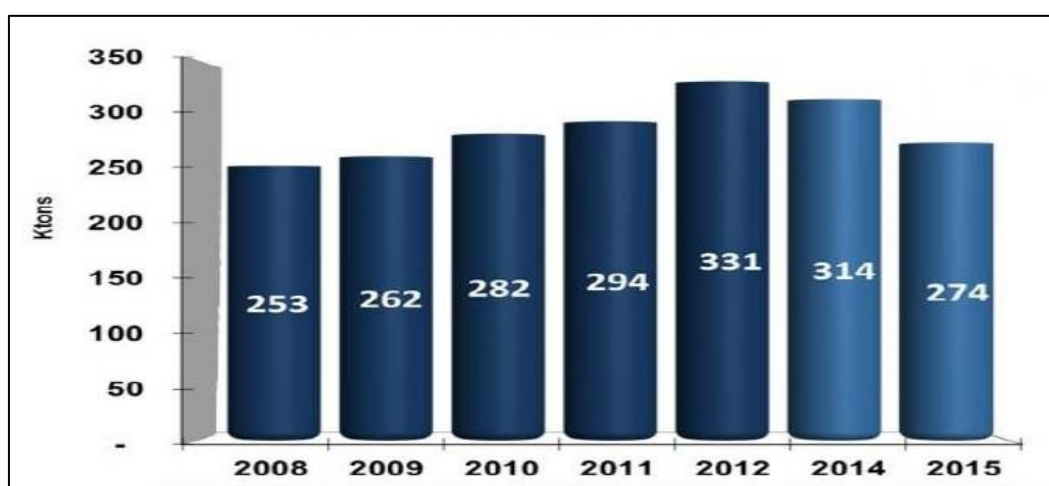
No processamento do PET há preocupações com os contaminantes em geral, de acordo com Paci e La Mantia (1998), mas principalmente com o PVC e os adesivos, pois diminuem a qualidade do PET reciclado. O importante, segundo Santos (2004), é o desenvolvimento de métodos de descontaminação que possam eliminar a contaminação causada por qualquer tipo de conteúdo que tenha passado pela embalagem durante seu período de reuso pré-reciclagem. Conforme o autor, hoje, a descontaminação tornou-se um dos principais desafios do setor de reciclagem de plásticos, representando todo um segmento de mercado a ser explorado.

CEMPRE (2011) relata que no ano de 2008, no Brasil, 54.8% das garrafas PET pós-consumo foram devidamente descontaminadas e recicladas através do processo de exposição do material ao fluxo de ar seco quente entre 130°C e 220°C por cerca de 15 minutos.

No Brasil, as garrafas de PET com destinação à reciclagem são reguladas pela Legislação Brasileira através do Projeto de Lei nº 4.049 de 2015, segundo

ABIPET (2011). O reprocessamento desse material depende da iniciativa dos catadores de materiais recicláveis, por exemplo, os quais levam os produtos para as cooperativas, que repassarão para as indústrias de reciclagem. Ainda para a Associação, o PET reciclado é usado para produção de fibras de poliéster para industrial têxtil, aditivos para materiais da construção civil, vassouras, chuveiros, entre outros destinos, garantindo, assim, a ascensão do processo de reciclagem no país, segundo a Figura 8.

Figura 8 – Evolução da Reciclagem do PET no Brasil



Fonte: ABIPET, 2015

Dessa forma, para Formigoni e Campos (2012), a reciclagem do PET alcança os pilares do desenvolvimento sustentável, a geração de benefícios sociais e a fixação das cooperativas industriais no mercado, visto que é uma medida moderna e preocupada com o meio-ambiente. Além disso, os autores afirmam que a reciclagem permite a geração de novos empregos, criação de produtos, conceituação populacional sobre os cuidados que se deve ter sobre poluição ambiental, estimulando o crescimento econômico e social do país.

2.3.1.2. Aplicação do PET reciclável

A ABIPET (2011) afirma que existem várias iniciativas para o uso reutilizado dos materiais desenvolvidos com garrafas PET dentro do leque da construção civil, incluindo a fabricação de tijolos de vedação de PET. Tais tijolos, geralmente, segundo Aragon e Ghirdello (2014), são desenvolvidos com o uso de garrafas de PET inteiras, posicionadas na vertical ou horizontal, preenchidas com areia ou

cascalhos e revestidas com concreto, argamassa ou com outros materiais, formando assim o bloco reciclável de vedação.

No Pará, segundo os estudos de Tapajós (2007), um tijolo de PET foi desenvolvido com a combinação de gesso, cimento, resina cristal, caroço moído de açaí e garrafas de PET. De acordo com o autor, associou-se 3 garrafas PET envolvidas por uma camada de um centímetro e meio de cimento dentro de uma forma de madeira; com o cimento curado em cerca de 12 horas, formou-se o tijolo de extremidades faces lisas, enquadrando-se como bloco de vedação, segundo a NBR 15270-1.

De acordo com Kanning (2007), além desse tipo de tijolo, também foi estudada a criação de um tijolo de vedação com o uso de PET, porém com o concreto: o projeto ISOPET. Nesse projeto, ainda segundo o autor, o tijolo é produzido com garrafas de PET de 2L fechadas e vazias, envolvidas com concreto e é modelado em uma forma retangular de madeira com dobradiças laterais (Figura 9).

Figura 9 – Modelo de tijolo ISOPET



Fonte: Kanning, 2007

2.4. Desempenho TermoAcústico

Uma das características mais importantes para uma boa vivência nas habitações é o desempenho ambiental, de acordo com Borges (2013), principalmente tratando-se de habitações de interesse social. Segundo o autor, as condições de conforto e desempenho termoacústico, as quais fazem parte do desempenho ambiental, não são tratadas como prioridade pelas políticas públicas, o que gera materiais com uma funcionalidade baixa em relação a essas características.

Sendo assim, para Lamberts (2014), é importante entender os conceitos do desempenho térmico e do desempenho acústico. O primeiro, ainda pela visão do autor, pode ser definido em função das características dos materiais que compõem seus elementos, e é supervisionado pela NBR 15220 (Desempenho Térmico de Edificações), as quais repercutem no conforto térmico dos usuários, que é uma sensação subjetiva que depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Graf (2011) também afirma que os níveis de desempenho térmico de habitações são diretamente influenciados pelos materiais constituintes do envelopamento da habitação (confinamento das tubulações) e, assim, para que haja melhoria no desempenho de uma habitação é necessário que ocorra o isolamento térmico correto conforme o clima de cada região.

Diante disso, Gemelli (2009), afirma que, a relação de desempenho e conforto térmico é direta, pois o calor do corpo humano é trocado com o calor externo, que vem dos materiais usados na habitação. Ainda para o autor, o ser humano é um animal homeotérmico, isto é, a temperatura interna do corpo tende a permanecer constante independentemente das condições climáticas, dessa forma, em condições normais, a temperatura média do ser humano varia entre 36,5°C e 37,5°C.

Frota e Schiffer (2001) enfatizam que as trocas de calor ocorrem através da pele (órgão termorregulador do corpo humano), já que apenas 20% da energia gerada no corpo é transformada em trabalho, dissipando-se os 80% de energia para que a temperatura interna permaneça em equilíbrio. Isso tudo acontece, segundo os autores, principalmente, quando a habitação não possui um desempenho térmico adequado, obrigando o organismo a ativar os mecanismos de termorregulação, o que causa a sensação de desconforto térmico.

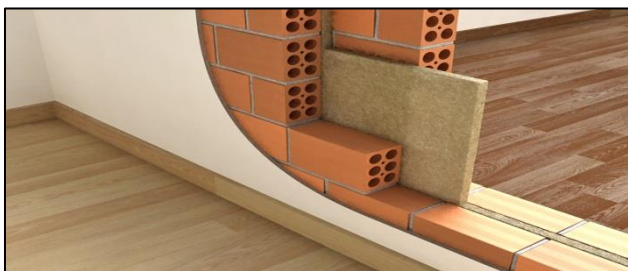
Tratando-se do desempenho acústico, o mesmo depende dos componentes de sistemas construtivos de habitações, pois é a capacidade de isolar ruídos, ou seja, inibir o som que causa desconforto, de maneira que não interfira negativamente no convívio dos habitantes (SPANNENBERG, 2006). Contudo, para França e Niemeyer (2011), o baixo desenvolvimento de medidas que evitem esse desconforto, principalmente em regiões de habitações de interesse social, prejudica bastante a eficiência completa da mesma.

A poluição sonora é um dos tipos de poluição ambiental que mais cresceu nos últimos anos, sendo a terceira maior causadora de doenças ambientais em

países Europeus, Correia (2009). De acordo com Ferreira e Zannin (2007), altos graus de ruídos provocam distúrbios de sono, irritabilidade, dor de cabeça, hipertensão, além de outras interferências físicas e emocionais.

Para França e Niemeyer (2011), as tipologias mais usadas em projetos de habitações apresentam baixa qualidade acústica, seja por falta de recurso ou, até mesmo, pela tendência de uso de materiais menos isolantes como os tijolos cerâmicos de vedação, por exemplo, o que faz ocorrer à aproximação, em muitos casos, do limite da insalubridade sonora. Diante disto, segundo Santos (2004), faz-se necessário, muitas vezes, tentar barrar o som de alguma forma, como se colocando madeira entre os blocos, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Modelo adequado de Isolamento Acústico em Tijolos de Vedação



Fonte: MasterHouse, Manutenções e Reformas, 2015

Para evitar adaptações com materiais, com o fim de aumentar o isolamento acústico, após a construção finalizada, Neto (2009) adverte sobre a importância da análise de recursos que viabilizem uma boa qualidade acústica desde o início da etapa de projeto da obra. Ainda segundo ele, depois da obra concluída, a dificuldade para realização de adaptação e melhoria das condições acústicas é ainda maior.

Ornstein e Romero (1992) expõem que os principais fatores que definem o nível de desempenho acústico são o autocontrole de ruído, inteligibilidade do som, a qual é denominada, segundo eles, como isolamento de sons desconfortáveis sem prejudicar as atividades dos usuários; e o tempo de reverberação.

Diante disso, Santos (2004) afirma que o ruído propaga-se tanto pelo ar quanto por estruturas sólidas. O propagado pelo ar, de acordo com ele, é denominado de ruído aéreo e o transmitido pela estrutura (vibrações ou impactos) de ruído de impacto ou de ruído de percussão. Sabendo-se disso, a NBR 15575 determina que as edificações devem gerar conforto acústico aos seus usuários,

apresentando isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da habitação, de acordo com ABNT (2005).

A transmissão sonora através das vibrações em estruturas está relacionada à Lei das Massas, a qual diz que o índice de redução sonora aumenta cada vez que a frequência ou massa são dobradas, ou seja, quanto mais espessa e pesada é a estrutura, mais ela isola os ruídos, de acordo com Polli (2007).

2.4.1. Transferência de calor entre o meio externo e interno à habitação

A parte interna de uma habitação absorve energia térmica proveniente do meio externo, de acordo com Grzybowski (2004), a priori através dos mecanismos de radiação do sol, forma de transmissão de calor que não necessita de um meio para que ocorra essa propagação, já que a energia é transmitida em forma de ondas eletromagnéticas; a posteriori por meio da convecção, que é a propagação do calor através do movimento do fluido envolvendo transporte de matéria.

Diante disto, a temperatura do lado externo da habitação construída tende a elevar-se em relação à temperatura inicial, por conta do recebimento do calor da radiação, e assim, por condução, ocorre um fluxo de calor adquirido para o lado interno da construção. Logo, a intensidade desse fluxo de calor depende da espessura da alvenaria, por exemplo, da capacidade calorífica do material, de sua densidade e também da condutividade térmica; confirmando a existência da transmissão do calor do meio externo para o interno da habitação (BEZERRA, 2003).

Por causa do aumento do aquecimento global, conseqüentemente da temperatura que da Terra, Munhoz (2005) observa que o setor da construção civil necessita aprofundar-se nos estudos de alternativas para incentivar melhorias do desempenho térmico como, por exemplo, o ensaio térmico ASTM C976 (American Society for Testing and Materials – Test for Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Calibrated Hot Box). De acordo com o autor esse ensaio é um método de teste padrão para obtenção do desempenho térmico, determinando resultados para elementos da construção civil, tais como paredes em estado estacionário, transitório ou dinâmico.

Maragno (2002), por meio dos testes de ensaios térmicos, enfatiza que a utilização de resíduos como matéria-prima na fabricação de elementos construtivos apresenta melhorias no desempenho térmico do produto final, além de que possui vantagens nos setores econômicos e ambientais de reutilização.

2.4.2. Interpretação Acústica em tijolos de vedação

Segundo Neto (2009), o isolamento de sistemas de vedações verticais, com tijolos cerâmicos, feito através de medições de ruído aéreo, entre dois ambientes, pode ser determinado tanto em campo quanto em laboratório. Para o autor, as medições dos ruídos em campo permitem analisar a coincidência das características dos ambientes analisados em relação às exigências regulamentadas pelas normas vigentes, enquanto os ensaios em laboratório permitem determinar o índice de redução sonora ponderado dos sistemas construtivos analisados, prevendo na fase de projeto a conformidade dos ambientes quando ao desempenho acústico requerido pelas normas, principalmente pela ISO 16283:2014.

Para Neto e Bertoli (2010), os elementos construtivos precisam respeitar o sistema massa/mola/massa, o qual representa a propagação das ondas sonoras de acordo com a quantidade de massa existente no material, podendo funcionar como barreira para a passagem da frequência nos tijolos. Porém, mesmo com os ensaios sobre o desempenho acústico em tijolos de vedação, a eficiência sonora dos mesmos não é excelente.

Diante disso, afirma-se que os processos de fabricação do tijolo cerâmico de vedação juntamente com o sistema executivo das paredes de vedação não contribuem para obtenção de um desempenho acústico favorável. O autor também enfatiza que os espaços vazios que são deixados por conta da má execução, facilitam a passagem das ondas sonoras pelo tijolo (NUNES, 2014).

2.5. Análise de Resistência Mecânica em Alvenarias de Vedação

Segundo Fowler (1998), como o bloco cerâmico de vedação não tem como função resistir a grandes carregamentos, a resistência mecânica que o mesmo

possui não precisa ser alta, porém, por outro lado, em relação à alvenaria, do modo que a resistência do bloco cresce a da alvenaria também aumenta.

Dessa forma, Côrrea e Ramalho (2013) afirmam que a determinação da resistência do bloco de vedação é de fundamental importância, já que outros fatores são analisados e conhecidos através do parâmetro experimental de ensaios regidos pela NBR 15270, como, por exemplo, a forma e a composição.

Para a ABNT (2005), as características mecânicas são determinadas pela resistência à compressão dos blocos cerâmicos de vedação, calculada sobre a área bruta do bloco, devendo o valor do resultado ser maior ou igual a 1,5 MPa para blocos usados com furos na horizontal, e para blocos usados com furos na vertical deve ser maior ou igual a 3,0 Mpa, baseado na NBR 7171/92, conforme o Quadro 2. Ainda de acordo com a ABNT, mas com a NBR 15270, as características físicas são obtidas através dos ensaios de massa seca e de índice de absorção de água, os quais devem estar ente 8% e 22%.

Quadro 2 – Resistência à compressão do Bloco de Vedação

Classe	Resistência à Compressão (MPa)
A	1,5
B	3,0

Fonte: Adaptada da NBR 7171/92

Portanto, a realização de ensaios normatizados de blocos de vedação, conseqüentemente, da alvenaria, é a melhor maneira de analisar uma boa situação de projeto, diante dos possíveis diferentes comportamentos dos elementos, a depender da fornecedora, por exemplo, Page e Shrive (1998). Eles afirmam também que a depender da altura do corpo de prova a ser moldado, a resistência à compressão reduz, já que a ruptura da unidade é causada pela iniciação e propagação das fissuras.

2.6. Concreto

Para Metha e Monteiro (1994), o concreto foi descoberto através do condicionamento de um aglomerante cimentício, sendo um tipo especial de areia

vulcânica, conhecida como “pozolana”, encontrada, até então, apenas no sul da Itália. Ainda conforme os autores, a pozolana é, na verdade, uma “areia” especial que reage quimicamente com cal e água para endurecer, formando uma pedra artificial que se torna resistente mesmo quando submersa, a qual formou o concreto.

Dessa forma, Cremonini (2001) afirma que o concreto é, provavelmente, o material de construção mais utilizado no mundo, com consumo estimado de 5,5 bilhões de toneladas por ano, possuindo custo relativamente baixo, disponibilidade dos materiais constituintes, facilidade de fabricação, versatilidade e adaptabilidade de formas. Neville (1997) evidencia que ele é um elemento construtivo composto por uma mistura de um aglomerante, o cimento, com um agregado miúdo, areia, com um agregado graúdo, a brita, e água, podendo-se ainda utilizar adições ou aditivos na composição.

Para Banet (2007), o cimento portland é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, o autor afirma que, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o cimento portland não se decompõe mais. Suas matérias-primas são calcário, argila, gesso e outros materiais denominados adições; sua fabricação exige grandes e complexas instalações industriais, como um potente forno giratório que chega a atingir temperaturas próximas a 1500°C e, além disso, no mercado existem diversos tipos de cimento e a diferença entre eles está na composição, mas todos atendem às exigências da NBR 16697/2018 - cimento Portland, requisitos; segundo Lima (2011).

Os tipos de cimento Portland, para a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002), são:

- a) Cimento portland comum com adição CP I-S-32
- b) Cimento portland composto com escória CP II-E-32
- c) Cimento portland composto com pozolana CP II-Z-32
- d) Cimento portland composto com filer CP II-F-32
- e) Cimento portland de alto forno CP III-32
- f) Cimento portland pozolânico CP IV-32

O cimento CP II Z 32 RS, o qual possui adição de pozolana, por exemplo, normatizado pela norma ABNT NBR 11578:1991, garante ao produto resistências iniciais superiores, coloração escura e pega rápida, além de resistir muito bem aos sulfatos.

De acordo com Fonseca (2010), a adição da pozolana, cerca de 6% a 14%, permite que o concreto adquira uma maior impermeabilização e durabilidade, contribuindo para evitar o aparecimento de fissuras, trincas e eflorescência e suas principais características são definidas pela composição química, conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Características químicas do Cimento CP II Z-32- RS

Compostos Químicos	Porcentagem (%)
Resíduo Insolúvel	12,19
Perda ao fogo	4,81
Óxido de Magnésio (MgO)	5,87
Trióxido de Enxofre (SO₃)	2,87
Dióxido de Silício (SiO₂)	21,69
Óxido de Alumínio (Al₂O₃)	6,73
Óxido de Ferro (Fe₂O₃)	4,54
Óxido de Cálcio (CaO)	50,11
Sulfato de Cálcio (CaSO₄)	4,88
Óxido de Cálcio livre (CaO)	0,5
Álcalis Totais	3,11

Fonte: Adaptada da NBR 11578/91.

Para Petrucci (1981) agregado é um material granular sem forma ou volume definidos, normalmente inerte, de tamanhos de diâmetros e de propriedades adequados para o uso na construção civil. Segundo ele, a areia e a brita, são, respectivamente, agregado miúdo e agregado graúdo, provenientes da britagem de origem natural de rochas estáveis, ou de mistura de várias rochas, cujos grãos passam pelas peneiras de 4,8 mm e 152 mm, de acordo com a normatização ABNT 7211/2009.

Sabe-se que através das misturas de todos esses materiais, juntamente com a água, ocorre o surgimento das principais propriedades do concreto, Alves (1987), que são a segregação, trabalhabilidade, homogeneidade (mobilidade) e a resistência à compressão. Diante disso, Aitin (200) destaca que as propriedades do concreto são excelentes, já que ele pode ser lançado facilmente nas obras, além do material

poder ser controlado rigorosamente desde o preparo, até o endurecimento, garantindo, assim, propriedades fixas e determinísticas.

3. METODOLOGIA

3.1. Materiais utilizados na moldagem do tijolo de vedação de PET

3.1.1. Cimento

O cimento CP II Z-32- RS foi escolhido para ser utilizado na preparação da massa de concreto para produção do tijolo sustentável em estudo por causa de suas principais características químicas como a resistência a sulfatos, diante de que, esse tijolo será voltado para habitações de interesse familiar que podem estar localizadas, por exemplo, próximas ao mar ou a indústrias, mas a escolha se deu principalmente pela facilidade de acesso a esse tipo de cimento na região de Sergipe, já que, atualmente, é o cimento mais presente nas lojas de vendas de materiais de construção.

3.1.2. Areia Média Lavada

A areia utilizada foi a areia média lavada (Figura 10), ou seja, areia natural; já que é indicada para esse tipo de elemento estrutural, segundo Rocha (2012), além disso, por ser um material de fácil acesso, foi estocada em local coberto e separada por baias, no CTEA, do bairro Farolândia, em Aracaju/SE.

Figura 10 – Areia Média Lavada



3.1.3. Brita 0

O agregado graúdo utilizado para compor a mistura da produção do concreto foi a brita 0 (Figura 11), recolhida e estocada da mesma condição que a areia média, no CTEA, localizado no bairro Farolândia, em Aracaju/SE, e também estocado em baias que o separavam dos outros tipos de britas e de areias.

Figura 11 – Brita 0



3.1.4. Água

Utilizou-se a água potável fornecida pela Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO, também coletada no CTEA.

3.1.5. Garrafa PET de 1L

A garrafa PET de 1L de Guaraná Antarctica, ilustrada na Figura 12, foi escolhida para a realização do estudo por possuir um tamanho mediano dentre todas as outras garrafas do tipo PET, ou seja, o tamanho dela pôde influenciar de maneira coerente (nem pequeno demais, nem grande demais) no tijolo sustentável, tornando-o adequado tanto em relação às dimensões, quanto ao peso do tijolo; além de ter sido coletada com maior facilidade na cidade de Aracaju/SE.

Figura 12 – Garrafa PET de 1L



3.1.6. Fôrma de Madeira

As fôrmas de madeira utilizadas para fabricação dos moldes dos tijolos sustentáveis foram de compensado resinado de 15 mm de espessura (Figura 13), visando-se obter as faces dos blocos lisas e niveladas.

Figura 13 – Folhas de Compensado Resinado



3.2. Processos de fabricação dos tijolos sustentáveis

3.2.1. Ensaios de caracterização dos materiais

3.2.1.1. Ensaio granulométrico da areia média

O ensaio de caracterização da areia média foi realizado em conformidade com a norma de desempenho norma Mercosur NBR NM 248:2001 – Agregados, Determinação da composição granulométrica de agregados graúdos para concreto, a qual informou a necessidade de duas amostragens distintas do mesmo material para a análise dos resultados. Desse modo, por meio do peneiramento, concluiu-se o tamanho da dimensão máxima característica do grão de areia média e o módulo de finura da mesma.

A dimensão máxima característica (DMC), de acordo com a norma NM 248:2001, corresponde à abertura nominal, em mm, da malha da peneira na qual o agregado possui uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Já o módulo de finura (MF) é a soma das porcentagens retidas acumuladas em massa (encontradas através da média dos resultados das duas amostras e somadas com as peneiras anteriores a elas) dividida por 100, de acordo com as Equações 1 e 2.

$$R = \frac{(\%R1 + \%R2)}{2} \quad (\text{Equação 1})$$

$$MF = \frac{(\%R A m1 + \%R A m2 + \%R A m3 + \%R A m4 + \dots + \%R A mn)}{100} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

a) R refere-se a porcentagem retida de areia média de cada amostra, ou seja, %R1 é a porcentagem retida da amostra 1 e %R2 é a porcentagem retida da amostra 2, da mesma peneira;

b) %R A m1 refere-se à porcentagem média da primeira peneira (R). Já a %R A m2, representa a soma, ou seja, o acúmulo entre a porcentagem média da primeira peneira (R) com a porcentagem média da segunda peneira (R2) e assim

sucessivamente até o acúmulo de todas as peneiras, excluindo apenas o que ficou retido no fundo. Denominando-se de porcentagem retida acumulada em massa.

Assim, de acordo com a norma, foram separados e pesados 1000g de areia média, por amostra, para análise na balança analítica de precisão de 0,1mg (Figura 14). O material precisou estar livre de impurezas como, por exemplo, galhos e folhas. Após essa coleta do material, as peneiras da série normal, as quais atendem à norma Mercosur NBR NM 248:2001 – Agregados, Determinação da composição granulométrica de agregados graúdos para concreto; foram separadas, limpas e posicionadas uma em cima da outra, de modo a formar um único conjunto de peneiras.

Figura 14 – 1000g de areia média colhida e pesada na balança digital



Foram usadas as peneiras de malhas 4,8mm, 2,4mm, 1,2mm, 0,600mm, 0,300mm e de 0,150mm, de modo que a última peneira foi completamente fechada, impedindo a passagem da areia. Elas ficaram posicionadas em ordem crescente da

base (fundo) para o topo e, posteriormente, foram colocadas na peneira vibratória sem a tampa (Figura 15).

Figura 15 – Peneiras posicionadas na peneira vibratória de acordo com a ordem estabelecida pela Norma de Desempenho.



Com as peneiras posicionadas, o material (1000g) foi despejado no sistema de peneiras, conforme mostra a Figura 16. Posteriormente, o conjunto de peneiras foi tampado e peneira vibratória foi configurada para vibrar continuamente por 2min, de acordo com as informações contidas na norma NM 248:2001 para o peneiramento vibratório.

Figura 16 – Material despejado no conjunto de peneiras.



Feito isso, as peneiras foram retiradas do sistema com bastante cuidado para que fosse evitada a perda de material, ou, até mesmo, passagem de material retido em uma peneira para outra; e colocadas em uma bancada plana para que fosse iniciada a análise das porcentagens retidas em cada uma delas.

O material contido em cada peneira foi removido e com a ajuda de uma escova de aço a malha foi escovada para que todo o material fosse coletado. O material de cada peneira foi retirado e colocado em recipientes diferentes para que fosse obtido o peso retido da areia em cada peneira e, posteriormente, foi realizada a anotação dos valores encontrados para que fosse feito o cálculo das porcentagens da massa retida e da massa retida acumulada.

Com todas as porcentagens retidas das peneiras e das duas amostragens, foi calculada a porcentagem média de cada peneira (R) e foi somado, acumulando, o que estava contido em cada peneira ($\% R_{Amn}$). Por fim, foi encontrado o valor do módulo de finura da areia média e, além disso, analisou-se também a porcentagem imediatamente menor que 5% para o DMC, como exposto na NM 240/2001.

Os valores dos pesos retidos em cada peneira foram lançados na tabela criada no *Excel*, onde foram inseridas as Equações 1 e 2 nas células, facilitando, assim, os cálculos da porcentagem retida média e da porcentagem retida acumulada, as quais determinam o módulo de finura e o diâmetro máximo do material, conforme as equações.

3.2.1.2. Ensaio Granulométrico da Brita 0

O procedimento feito para a realização do ensaio de caracterização da brita 0 foi determinado pela norma Mercosur NBR NM 248:2001 – Agregados, Determinação da composição granulométrica de agregados graúdos para concreto. Com o entendimento da norma de desempenho, e sabendo-se que o diâmetro máximo da brita 0 é de 12,5 mm, foram coletados 2000g de material (tabelado na norma), livre de impurezas e pesados na balança analítica. Nesse caso, como o recipiente disponível era pequeno, foram colhidas duas amostras de 1000g de brita 0 para análise na balança (Figura 17).

Desse modo, as peneiras foram separadas, limpas e colocadas em ordem crescente, do fundo de peneira à tampa, juntamente com o fundo de peneira, formando, juntas, um conjunto único de peneiras, o qual foi encaixado na peneira vibratória disponível, seguindo a norma. O ensaio foi realizado duas vezes de acordo com o que é contido na norma para a obtenção dos resultados finais.

Figura 17 – Pesagem da brita 0 na balança analítica



As peneiras da série normal para análise de agregados graúdos utilizadas foram de malhas de 50mm, 37,5 mm, 25mm, 19mm, 12,5mm, 9,5mm e 4,8 mm, conforme a NM (Figura 18), já que o diâmetro da brita é maior que o de agregados miúdos.

Figura 18 – Peneiras em ordem crescente de diâmetro



Após a fixação do sistema de peneiras na peneira vibratória, a mesma foi configurada para vibrar continuamente por 5min, foram colocados os 2000g de brita 0 no sistema (Figura 19). Feito isso, o sistema foi colocado numa bancada plana para a separação de cada peneira, podendo-se, assim, fazer a pesagem da massa retida em cada uma das peneiras. Como as malhas são maiores, não houve a necessidade de utilizar a escova de aço para soltar grãos presos, bastou-se empurrar o grão manualmente em direção ao recipiente.

Figura 19 – Colocação da brita 0 no sistema de peneiras



Por fim, a massa retida em cada peneira foi pesada na balança analítica e foi registrado o resultado das médias retidas das duas amostragens, garantindo o DMC e o módulo de finura da brita 0 em estudo, da mesma forma que foram obtidos os resultados do agregado miúdo.

3.2.1.3. Módulo de Finura do Cimento

O ensaio de módulo de finura do cimento foi realizado de acordo com a norma NBR 11579 – Determinação da finura do cimento Portland. Logo, foram separados 50g de CP II Z 32 RS que foram pesados na balança analítica (Figura 20).

Figura 20 – 50g de CP II Z 32 RS



Feito isso, os 50g de cimento foram despejados na peneira de número 200, com o fundo de peneira vedado e, posteriormente, a peneira foi agitada por cerca de 2 minutos, até que a maioria dos grãos de cimento passasse pela malha. Após a realização dessa etapa, o fundo foi despreendido da peneira e ela foi fechada com a tampa para o início do processo de golpeamento com bastão na lateral da peneira, com o objetivo de retirar todos os grãos que ficaram retidos (Figura 21).

Figura 21 – Processo de golpes com o bastão na peneira



Com a conclusão desse processo, foi recolocado o fundo e a tampa da peneira. Posteriormente, inclinou-se a peneira e iniciaram-se movimentos de “vai e vem” por 1 minuto, girando todo o conjunto em cerca de 60° a cada 10 segundos. Assim, a malha da peneira foi limpa com o auxílio do pincel médio e o material contido nela foi transferido para o fundo. Todo o material que estava no fundo de peneira foi colocado no recipiente vidro-relógio para ser pesado com precisão. Com os resultados foi possível executar o cálculo e encontrar o módulo de finura do cimento.

Os cálculos foram provenientes do uso da Equação 3.

$$F = \frac{R.C.100}{M} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- a) F é o módulo de finura do cimento;
- b) R é o valor da massa retida na peneira de nº 200;
- c) C é o coeficiente de correção equivalente a 1,20;
- d) M é a massa inicial do cimento em g.

3.2.2. Dosagem do Concreto

Nesse estudo, foi usado como método para a dosagem do concreto, o fator água/cimento. Com os dados encontrados através dos ensaios de caracterização do agregado miúdo, do agregado graúdo e do cimento, o traço adequado foi calculado para a produção concreto, o qual foi utilizado para a moldagem dos tijolos sustentáveis. Primeiramente, foi determinada a resistência de dosagem (f_{cj}), por meio da Equação 4, a qual foi calculada através da resistência à compressão de 15 MPa, que foi almejada para o concreto (f_{ck}).

$$f_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot S_d \quad (\text{Equação 4})$$

Onde o “ S_d ” refere-se ao desvio padrão da resistência à compressão.

Em seguida, o valor do f_{cj} foi inserido juntamente com a resistência normal à compressão do cimento aos 28 dias (encontrada na embalagem do mesmo) na curva de *Abrams* para que fosse encontrado o valor do fator água/cimento. Posteriormente, ocorreu a fixação desse fator em função da classe de agressividade do ambiente e o fator água/cimento, garantindo a qualidade do concreto, que é tabelada, conforme a NBR 6118/2013 e foi prevenida então, a menor relação entre a determinada através da curva o critério da fixação do fator.

Com isso, iniciou-se o processo para o cálculo do consumo de água, isto é, a quantidade de água necessária para dar ao concreto fresco a consistência adequada, portanto foi utilizado o valor do DMC da brita 0 para que esse consumo de água fosse encontrado.

Concluindo-se esse cálculo, foi determinado o consumo dos materiais: cimento, agregado graúdo e agregado miúdo, exatamente nessa ordem. Para o cálculo do consumo do cimento, fez-se necessário apenas realizar a divisão entre o consumo de água e o fator água cimento. Já para o consumo da brita 0, o DMC dela e o módulo de finura da areia média, encontrados através dos ensaios granulométricos de caracterização do material, foram fundamentais para que fosse obtido o valor do volume da brita. Com o volume da brita, foi possível determinar o seu consumo por meio da multiplicação do seu volume pela massa compacta unitária do agregado graúdo que é tabelada de acordo com a norma NBR NM 45/2006 – Agregados, determinação da massa unitária e do volume de vazios.

Além disso, foi calculado também o volume da areia média lavada, o qual precisou do auxílio da Equação 5:

$$\text{Vareia} = 1 - \left(\left(\frac{\text{Consumo do Cimento}}{\text{Massa Específica Real do Cimento}} \right) + \left(\frac{\text{Consumo da Brita}}{\text{Massa Específica Real da Brita}} \right) + \left(\frac{\text{Consumo da Água}}{\text{Massa Específica Real da Água}} \right) \right) \quad (\text{Equação 5})$$

Da mesma forma do consumo da brita, o consumo do agregado miúdo foi encontrado através da multiplicação do volume da areia média e a massa compacta unitária da areia que também é tabelada também pela NBR NM 45/2006.

De acordo com os resultados obtidos e com o objetivo de moldar um tijolo com garrafa PET para vedação, o traço foi calculado com o uso da Equação 6:

$$\text{Traço} = \left(\left(\frac{\text{Consumo do Cimento}}{\text{Consumo do Cimento}} \right) : \left(\frac{\text{Consumo da Areia Média}}{\text{Consumo do Cimento}} \right) + \left(\frac{\text{Consumo da Brita 0}}{\text{Consumo do Cimento}} \right) : \left(\frac{\text{Consumo da Água}}{\text{Consumo do Cimento}} \right) \right) \quad (\text{Equação 6})$$

3.2.3. Produção do tijolo sustentável de garrafa PET

3.2.3.1. Projeto

Para a realização do projeto do tijolo sustentável de garrafa PET, foi analisada toda a dimensão da garrafa PET de 1L de guaraná Antactica, a qual possui 9cm de diâmetro e 26cm de altura. A partir dessas medidas, começou-se a desenvolver um projeto no *Autocad*, versão 2017, que se adaptasse a essas dimensões, surgindo assim a ideia de tijolos de encaixe macho e fêmea. Além disso, houve a preocupação em adotar medidas para o cobrimento realizado com o concreto, de acordo com as dimensões do projeto.

3.2.3.2. Fabricação dos tijolos

a) Preparação das fôrmas

Foram compradas chapas de compensado para a fabricação das fôrmas prismáticas, conforme as medidas do projeto. As chapas foram compradas na Madeireira Santa Terezinha e foram cortadas e montadas na empresa São Jorge Móveis Planejados, as duas localizadas na Avenida Maranhão, no Bairro Santos Dumont em Aracaju – Sergipe.

b) Coleta das Garrafas PET de 1L

A coleta foi feita em restaurantes, mas, principalmente, pela ajuda de amigos que consumiam o produto e guardavam para que o projeto pudesse ser realizado. As garrafas foram lavadas assim que recolhidas para a retirada de rótulos e também de possíveis impurezas, conforme a Figura 22.

Figura 22 – Lavagem e retirada dos rótulos das garrafas PET



c) Produção do concreto

Todo o seu processo de fabricação foi realizado através das normas NBR 12655: Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação, procedimento e da NBR 5738/2015: concreto – procedimento para moldagem de corpo de prova e cura de corpos de prova. De acordo com o volume da fôrma prismática foi calculado o volume de concreto, considerando-se um fator de segurança de 20% para perda de material e descontando-se o volume das garrafas.

Além do volume de concreto para a produção dos tijolos sustentáveis, um corpo de prova cilíndrico foi produzido para analisar-se a resistência bruta do concreto. O corpo de prova usado foi o de 10cm x 20cm, de fôrma metálica. Seu volume foi calculado através da área multiplicada pela altura ($\Pi.R^2.h$), considerando-se também a perda de 20%. Para estes, o concreto foi produzido uma única vez, já que não iria atingir o limite do volume da betoneira.

Através dos três cálculos dos volumes dos concretos e da dosagem do mesmo, iniciou-se a verificação das quantidades dos materiais de acordo com o traço encontrado. Assim, com os cálculos prontos e as quantidades de materiais definidas, foi iniciado o processo de peneiramento da areia média na peneira e o da brita 0. Os diâmetros de malha máxima foram escolhidos de acordo com o ensaio de caracterização desses agregados.

Em seguida, iniciou-se a pesagem do cimento e da água de acordo com a dosagem realizada anteriormente para que, assim, pudessem ser misturados todos os materiais na betoneira, conforme o passo a passo da norma técnica.

d) Colocação do desmoldante nas fôrmas

Após a produção do concreto, as fôrmas prismáticas de madeira dos tijolos de garrafa PET foram lubrificadas com o desmoldante próprio para madeira, o DesmolCD da Vedacit (Figura 23), para evitar que o concreto não grudasse na fôrma; facilitando a retirada do bloco após o processo de moldagem concluído.

Figura 23 – Desmoldante para fôrmas de madeira



Com todas as fôrmas lubrificadas, foi iniciada a moldagem dos primeiros tijolos de acordo com a NBR 5738/2015, para corpos de prova prismáticos, ao quais depois de moldados precisaram ser pesados colocando-se os valores dos pesos anotados em tabelas feitas no *Excel*.

3.2.4. Ensaios

3.2.4.1. Ensaio de resistência à compressão

Para a avaliação da resistência à compressão dos tijolos recicláveis de garrafa PET e do concreto dos corpos de prova cilíndrico, após os primeiros 7 dias de cura úmida nos tanques, foi usada a NBR 5739/2007 – concreto, ensaio de compressão de corpos de prova. Inicialmente, a máquina, modelo Prensa Hidráulica, precisou ser calibrada e ajustada de acordo com a NBR NM ISO 7500-1 – materiais metálicos, calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial; tal máquina precisou ser de classe 1, já que foi usada para estudo em laboratório. Além disso, precisou-se equipá-la com um prato inferior removível retangular, a fim de permitir a manutenção das condições da superfície. Dessa forma, o equipamento estava perfeito para ser utilizado na realização do ensaio. Todos os tijolos foram analisados (Figura 24).

Figura 24 – Máquina ajustada e com o prato inferior colocado para a realização do ensaio



Com a máquina pronta, retiraram-se alguns tijolos sustentáveis do tipo macho e outros do tipo fêmea, como também o corpo de prova cilíndrico para a análise da resistência à compressão ao 7º dia. Aos 28 dias do processo de cura, para o restante dos elementos também realizou o ensaio para que houvesse a resistência total registrada, a qual foi calculada através da dosagem do traço do concreto.

Como os resultados da resistência à compressão fornecidos pela máquina eram na unidade tonelada força, houve a necessidade de fazer a conversão para megapascal (Mpa) através da Equação 7.

$$f = \frac{F \times 1000 \times g}{\text{Área de Contato}} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

a) F é a força em tf;

“g” é a aceleração da gravidade equivalente a 9,81 m/s².

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

4.1. Análise dos ensaios de caracterização dos materiais

4.1.1. Análise do ensaio de granulometria da areia média

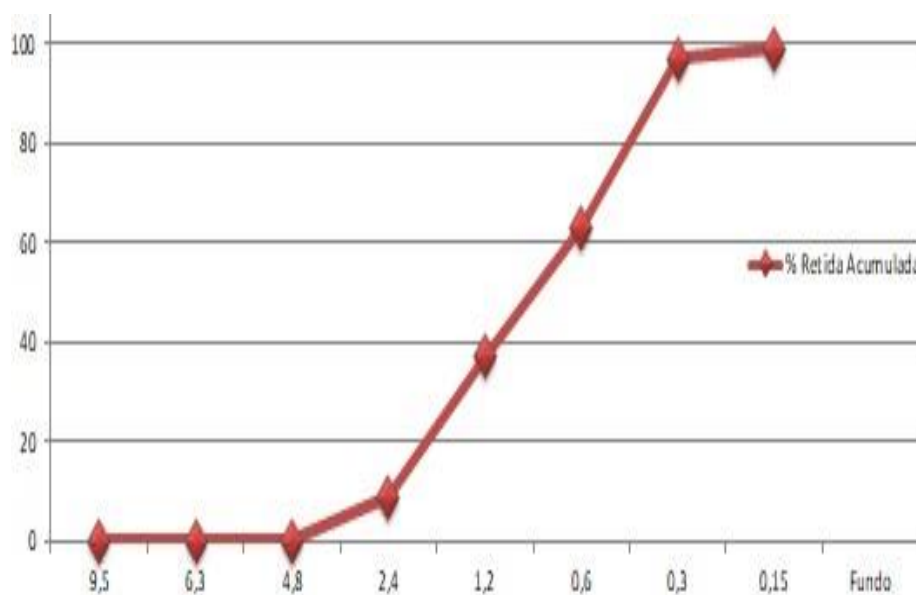
A Tabela 1 mostra os resultados de granulometria da areia média utilizada na confecção do concreto para o bloco de PET, através das fórmulas pré-colocadas no *Excel*.

Tabela 1 – Granulometria da Areia Média

GRANULOMETRIA DA AREIA ATRAVÉS DE PENEIRAMENTO - NM 248:2001						
mm	1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Acumulada
	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida		
9,5	0	0,00	0,00	0,00	0	0
6,3	0	0,00	0,00	0,00	0	0
4,8	0,4	0,04	1,97	0,00	0	0
2,4	77,18	7,76	104,48	10,00	9	9
1,2	150,01	15,08	406,66	41,00	28	37
0,6	282,81	28,43	230,28	23,00	26	63
0,3	433,35	43,57	245,63	25,00	34	97
0,15	32,14	3,23	5,28	1,00	2	99
Fun do	18,71	1,88	2,42	0,00	1	
Tota l	994,6	100,00	966,72	100,00	100	
Módulo de Finura			3,05	Diâmetro Máximo		4,8

De acordo com os resultados obtidos, pôde-se desenvolver a curva granulométrica do material, conforme a Figura 25.

Figura 25 – Curva Granulométrica da Areia Média



O comportamento da curva evidencia uma areia desuniforme, ou seja, os grãos que compõem essa areia média possuem tamanhos variados. Isso é excelente para a produção e propriedades do concreto, pois as várias frações de grãos com diâmetros misturados podem facilitar a moldagem dele, valorizando, assim, a trabalhabilidade da massa, comprovando o estudo realizado por Martins (2008) sobre a influência do agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto, o qual ele evidencia essas características da areia de acordo com o tamanho de seus grãos, os quais melhoram as propriedades do concreto. Além disso, também pode agregar no melhor encaixe dos grãos na mistura, da forma que os grãos menores possam preencher os vazios deixados pelos maiores, proporcionando uma menor existência de porosidade, o que pode favorecer a resistência final do elemento construtivo, segundo Montanari (2016).

4.1.2. Análise do Ensaio de Granulometria da Brita 0

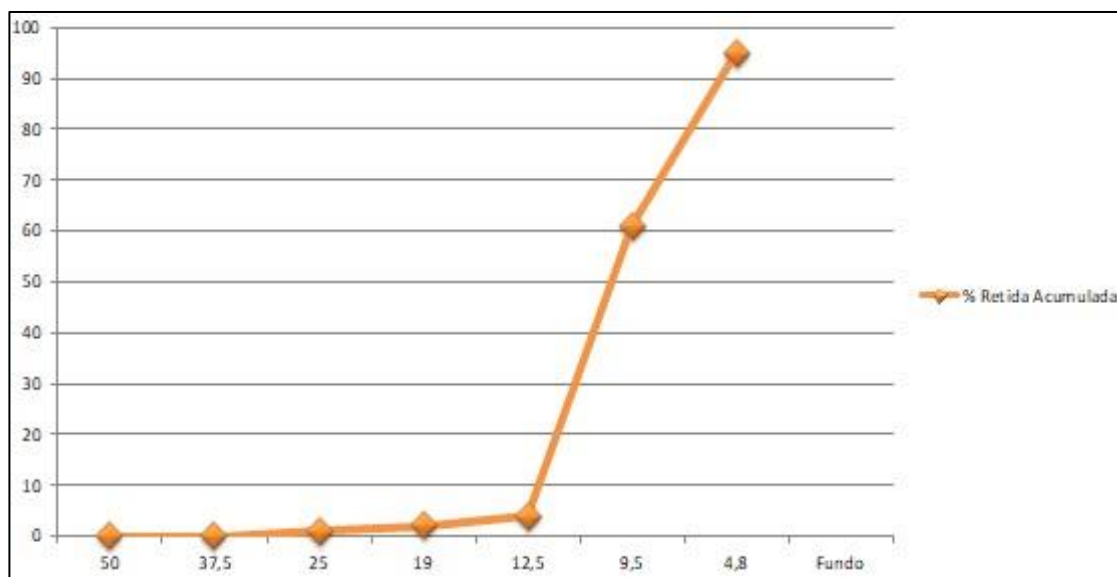
Da mesma maneira que a areia média, todos os resultados obtidos no ensaio granulométrico da brita 0 foram lançados em tabelas no *Excel* para facilitar a resolução dos cálculos. Os resultados alcançados, de módulo de finura e do DMC, foram os esperados de acordo com a norma de desempenho, conforme a Tabela 2

Tabela 2 – Granulometria da Brita 0

GRANULOMETRIA DA BRITA 0 ATRAVÉS DE PENEIRAMENTO - NM 248:2001						
mm	1ª Determinação		2ª Determinação		% Retida Média	% Retida Média Acumulada
	Peso Retido (g)	% Retida	Peso Retido (g)	% Retida		
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0
37,5	1,60	0,00	0,00	0,00	0	0
25	19,76	1,00	0,00	0,00	1	1
19	55,98	2,83	0,00	0,00	1	2
12,5	73,20	3,71	3,00	0,00	2	4
9,5	828,66	41,95	1378,06	72,00	57	61
4,8	812,08	41,11	499,52	26,00	34	95
Fundo	184,08	9,32	25,20	1,00	5	
Total	1975,36	99,92	1905,78	100,00	100	
Módulo de Finura			1,63	Diâmetro Máximo		12,5

Conforme os resultados das porcentagens retidas, elaborou-se também a curva granulométrica da brita 0 (Figura 26).

Figura 26 – Curva Granulométrica da brita 0



A curva granulométrica da brita 0 pode compreender o material como bem graduado. Isto é, os grãos que fazem a formação dessa brita 0 possuem diferentes diâmetros, o que pode ser bom também para as propriedades do concreto, já que, do mesmo modo que a areia média em análise, os variados tamanhos misturados podem garantir a pouca presença de porosidade, segundo Evangelista (2002). Além disso, de acordo com Neville (1997), a textura superficial do agregado tem influência sobre sua aderência com o cimento e a forma da brita 0 exerce forte influência sobre a resistência a compressão do concreto principalmente nas primeiras idades.

4.1.3. Análise do Ensaio do Módulo de Finura do Cimento

Através da realização do ensaio de módulo de finura, pôde-se compreender o que significava os valores encontrados na peneira e no fundo de peneira (Figura 27), calculando-se, por meio da equação 3, o Módulo de Finura (F) do cimento CP II Z 32 RS.

Figura 27 – Valor da massa retida na peneira de nº 200 após o peneiramento

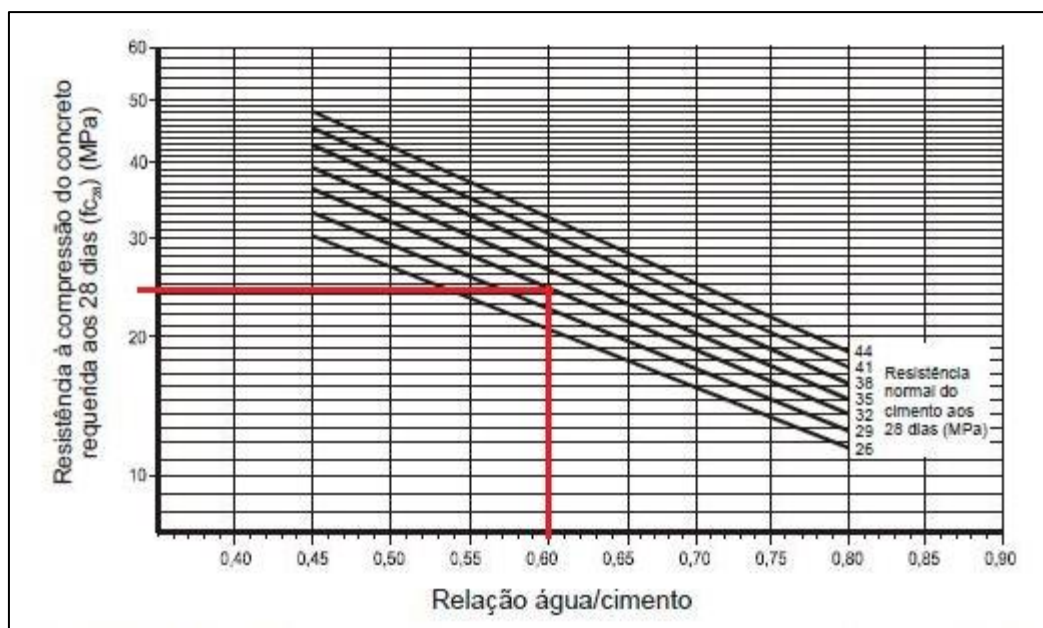


Dessa forma, foi encontrado o valor de massa retida no fundo de peneira de 49,24g. Portanto, ficou retido na peneira de nº 200, 0,76 g de cimento, já que o valor inicial da massa foi de 50g. Com isso, pôde-se afirmar que o Módulo de Finura foi de 1,824 %. De acordo com a norma NBR 11579/2012, o módulo de finura, para ser adequado para a reação de hidratação do cimento, devia ser menor que 12%. Ou seja, foi comprovado, por meio do ensaio, que o CP II Z 32 RS possuiu um excelente resultado para realizar a hidratação.

4.2. Análise do traço do concreto

Como forma de obtenção da dosagem do concreto perfeita, foram utilizados os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais para que isso fosse feito da maneira mais precisa possível. Assim, foi determinado que o módulo de finura da areia média foi de 3 e que o diâmetro da brita 0 adotou-se 12,5mm. Além disso, analisou-se que o desvio padrão adequado seria o de 5,5 diante de que a medição foi realizada em relação a massa do cimento, volume dos agregados e volume da água de amassamento; já que a resistência à compressão do concreto foi de 15 MPa.

Dessa maneira, foram feitos os cálculos da dosagem através da equação 4 para a determinação da resistência de dosagem, e encontrou-se um valor de 24,075 MPa. Posteriormente, por meio da curva de *Abrams*, encontrou-se o valor de 0,595 para o fator água/cimento (Figura 28), o qual precisou ser analisado de acordo com a classe de agressividade II (ambientes urbanos), a qual era de 0,60; para garantia da qualidade do concreto. Portanto, o fator água/cimento, por ser menor que a comparação com a classe de agressividade, pôde ser usado para o restante da sequência de cálculos, já que se comprovou a qualidade do concreto através da comparação.

Figura 28 – Curva de *Abrams* com o fator água/cimento

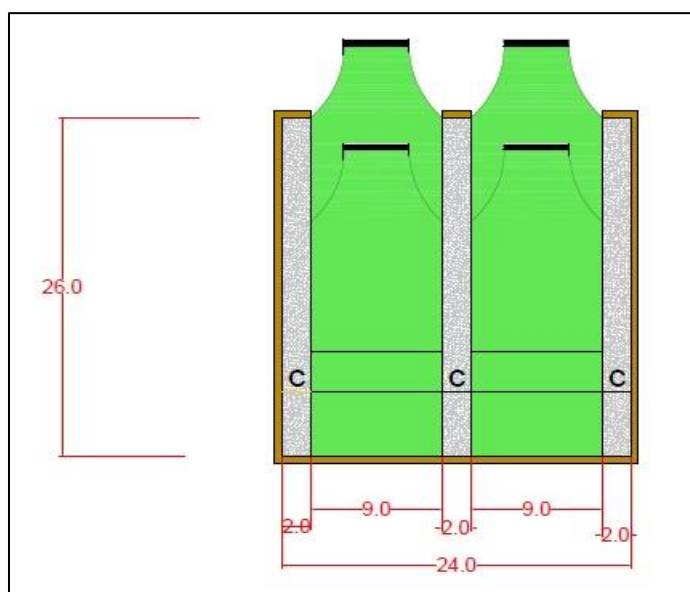
Feito isso, usou-se o valor do DMC da brita 0 (12,5mm) para a conclusão do consumo de água, o qual foi de 200 L/m³. Em seguida, foram encontrados os resultados dos consumos dos materiais. Para o cimento, o consumo foi de 369,75kg, conforme a divisão entre o consumo de água e o fator água/cimento. Utilizando-se os valores do DMC da brita 0 e o módulo de finura da areia média (3), foi encontrado o valor de 0,525 m³ de volume da brita 0. Com o valor do volume e da massa unitária compacta da brita 0 (1500 kg/m³), foi permitido encontrar o valor do consumo da brita 0, o qual foi de 787,5kg. Além disso, foi calculado o volume da areia média através da equação 5, expondo-se um resultado de 0,369 m³. Posteriormente, esse valor foi multiplicado pela massa compacta unitária da areia média (2650 kg/m³), evidenciando-se 977,85kg como resultado do consumo da areia média. Por fim, através da Equação 6 foi calculado o traço do concreto que foi de 1: 2,64: 2,13: 0,59.

4.3. Análise do projeto

Iniciou-se a análise do projeto a partir das medidas do comprimento e diâmetro das garrafas de 1L, previamente escolhidas. Diante desses valores, foi pensado sobre a forma dos tijolos sustentáveis, os quais teriam 26 cm de comprimento por 24 cm de largura, todos com dois furos centralizados de 9 cm para a entrada das garrafas PET.

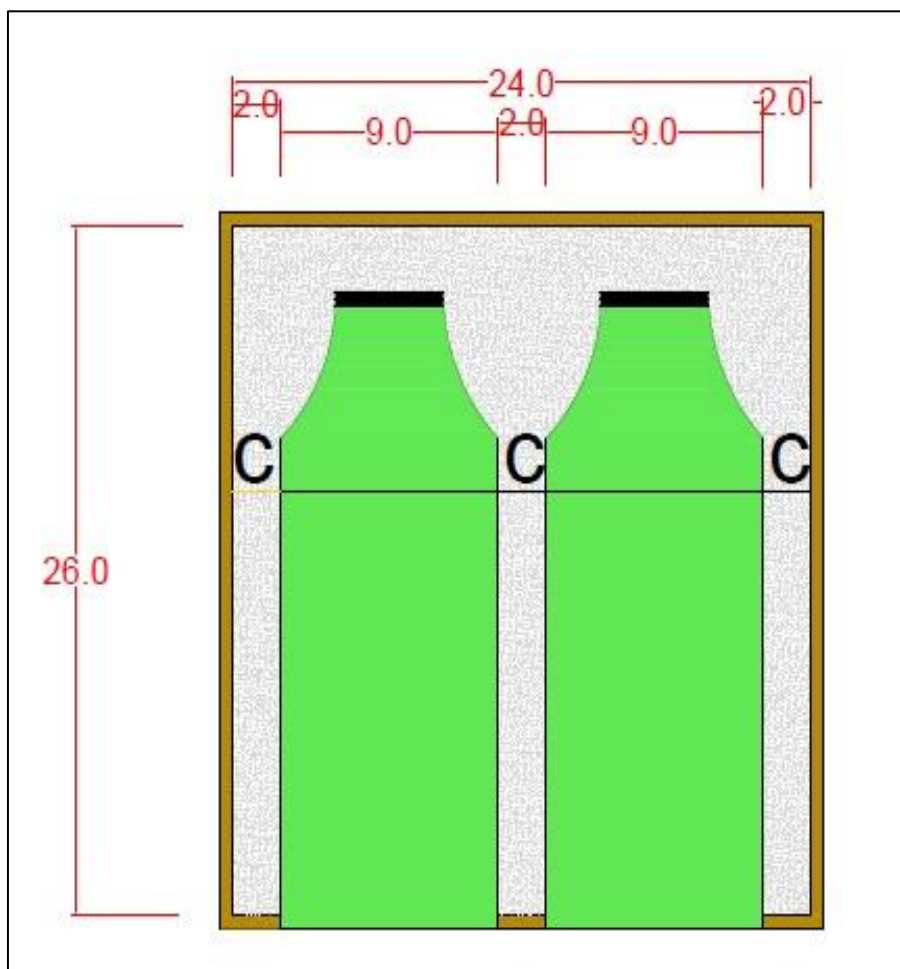
Com o início do desenvolvimento do projeto, percebeu-se que seria interessante utilizar, no tijolo do tipo macho, 4 garrafas ao total. Sendo 2 garrafas sem fundo posicionadas paralelamente e as outras 2, colocadas, inteiras, dentro das sem fundo, formando-se, assim, dois conjuntos de garrafas um ao lado do outro. Isso para que o conjunto ficasse mais resistente, conseqüentemente, sendo menos desconfigurado com a adição do concreto, já que as garrafas dentro uma da outra permitiriam a criação de um vácuo, o qual preencheria todo o volume interno do sistema de garrafas. Além disso, fez-se necessário pensar em um cobrimento de concreto, garantindo a proteção física e química do bloco. O cobrimento adequado para essa proteção foi de 2cm, já que não foi trata-se de concreto armado, por conta da folga que surgiu com o posicionamento centralizado das garrafas, de acordo com as medidas do projeto (Figura 29).

Figura 29 - Desenvolvimento do projeto tijolo sustentável de garrafa PET de encaixe, modelo Macho



Já para os tijolos do tipo fêmea, foram utilizadas duas garrafas PET (lado a lado), com cobrimento entre elas também de 2cm, o qual seria preenchido com concreto, de acordo com a Figura 30. O fundo das duas garrafas foi cortado e serviu como tampa (encaixado na parte aberta da garrafa), para que assim o ar ficasse armazenado dentro delas, preenchendo-se todo o volume ali existente.

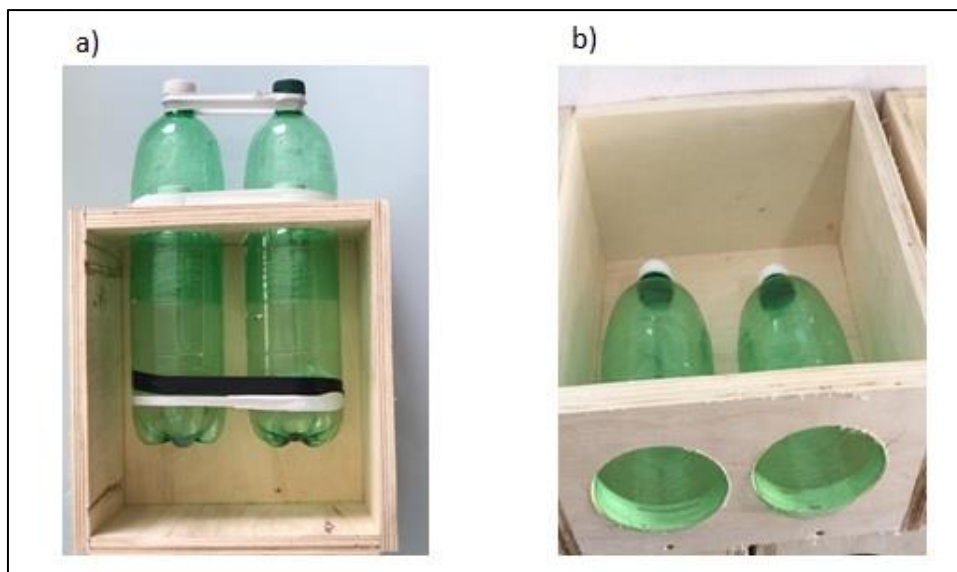
Figura 30 - Desenvolvimento do projeto tijolo sustentável de garrafa PET de encaixe, modelo Fêmea



Diante disso, com o intuito de seguir a semelhança com o tijolo cerâmico, a medida da altura do tijolo sustentável de garrafa PET foi estabelecida como 14 cm, conferindo assim um cobrimento de 2,5 cm abaixo e acima das garrafas PET, por conta do diâmetro da garrafa de 9cm, a qual ficará posicionada exatamente no centro da dimensão. Concluindo-se a etapa do projeto, foi ponderada a fabricação de 20 tijolos para que o desvio padrão dos resultados fosse grande, certificando de maneira mais precisa as características deles, sendo 10 do tipo macho e 10 do tipo fêmea. Com isso, seriam necessárias, em seu total, 60 garrafas PET de 1L (40 garrafas para os 10 blocos do tipo macho e 20 garrafas para os blocos do tipo fêmea).

Desse modo, com o intuito de tornar visível o projeto, a Figura 31a, ilustra o modelo de encaixe macho e a Figura 31b, o modelo de encaixe fêmea.

Figura 31- (a) visualização do tijolo macho, (b) visualização do tijolo fêmea.



4.4. Fabricação dos tijolos sustentáveis

A partir da confecção do projeto e da definição da quantidade de blocos a serem moldados, foram utilizadas 2 chapas de compensado para a fabricação de 20 fôrmas prismáticas, gerando, exatamente, 100 cortes, sendo 40 cortes de 24 cm x 15,5 cm, 40 cortes de 29cm x 15,5cm e 20 cortes de 24cm x 26cm (todos contando com a espessura da madeira de 1,5 cm), de acordo com a Figura 32.

Figura 32 - Execução dos cortes para a confecção das fôrmas prismáticas do tijolo reciclável de garrafa PET.



Cada detalhe da execução dos cortes e montagem das fôrmas foi fiscalizado para que não ocorressem erros com as medidas e, principalmente, com o nivelamento das peças dos cortes. Desse modo, a etapa mais complicada, a da perfuração dos 9 cm de diâmetro foi executada de maneira excelente, assegurando que a peça fosse de ótima qualidade para a futura moldagem dos tijolos, Figura 33.

Figura 33 - Peças cortadas com a medida exata do diâmetro da garrafa PET de 1 L.



Concluindo-se a etapa de cortes na marcenaria, foi iniciado o processo de moldagem das fôrmas, as quais precisavam ser de fácil desmolde (Figura 34). Pensando-se no momento da desmoldagem, preferiu-se que o fechamento das peças acontecesse por meio de parafusos, pois bastaria a retirada dos mesmos com uma chave de fenda ou com uma desparafusadeira, evitando, assim, problemas futuros.

Figura 34 - Início da moldagem das fôrmas prismáticas



Com as fôrmas prontas, foi calculado o volume de concreto para as 20 fôrmas de tijolos ($0,26\text{m} \times 0,24\text{m} \times 0,14\text{m}$) e para o CP cilíndrico. Sabendo-se disso, para os tijolos do tipo macho, que continham 4 garrafas PET em seu interior, foram reduzidos 2L do volume de cada tijolo, referente ao volume que as garrafas ocupavam. Como a mistura dos materiais foi feita numa betoneira de 120L, não seria suportada a produção total dos tijolos de cada tipo. Portanto, precisou-se produzir o concreto para 5 unidades de tijolo do tipo macho inicialmente. Depois o processo foi repetido, com as mesmas quantidades de materiais, para as outras unidades dos tijolos do tipo macho. Ou seja, dois processos de produção (10 tijolos do tipo macho), para que a quantidade de concreto produzido não ultrapassasse o limite de volume do equipamento.

Em relação ao tijolo do tipo fêmea, que continham 2 garrafas PET, o volume reduzido foi de 1,8L. Da mesma forma que o tijolo do tipo macho, foi necessária a separação de fabricação do concreto para cada 5 tijolos do tipo fêmea, garantindo, assim, o cálculo preciso do volume de concreto a ser produzido. Para o CP

cilíndrico, não houve retirada de parte de volume e também não foi necessária mais de uma produção do concreto na betoneira.

Assim, foi feita a pesagem de cada material. Para os tijolos do tipo macho (proporção para 5 tijolos) foram necessários 14,94 kg de cimento, 39,52 kg de areia média, 31,83kg de brita 0 e 8,89kg de água. Para os tijolos do tipo fêmea (proporção também para 5 tijolos) foram utilizados 15,39kg de cimento, 40,69 kg de areia média, 32,77kg de brita 0 e 9,16kg de água. Por fim, para o CP cilíndrico, tornou-se necessário o uso de 0,697kg de cimento, 1,843kg de areia média, 1,484kg de brita 0 e 0,415kg de água. Após a determinação das quantidades, a areia média e a brita 0 foram peneiradas. A areia média na peneira 4,8mm (Figura 35a) e o da brita 0 na peneira de malha 12,5mm (Figura 35b).

Figura 35 – (a) Peneiramento da areia média com o uso da sua respectiva peneira, (b) Peneiramento da brita 0 com o uso das sua respectiva peneira



Após o peneiramento dos agregados miúdo e graúdo, os mesmos foram pesados, conforme a quantidade encontrada pelos cálculos, e reservados em recipientes livres de impurezas para que, posteriormente, fossem adicionados à mistura final. O cimento e a água precisaram apenas do recolhimento, pesagem e reserva em recipientes distintos. Com todos os materiais na quantidade adequada, foram-se levados até o local em que a betoneira estava (Figura 36).

Figura 36 - Materiais separados com as quantidades calculadas prontas para serem misturados no aparelho



Conforme recomendações da NBR 5738/2015, a betoneira precisava ser previamente lavada com água potável para que ocorresse uma lubrificação da parte que receberia a mistura do concreto. Depois da lavagem, para os 5 primeiros tijolos do tipo macho, foi adicionado nela toda brita 0 e metade da quantidade de água. Ligou-se a betoneira e a deixou girando por 1 minuto. Com a conclusão do minuto, a betoneira foi desligada para a adição do cimento, da areia e do restante da água, deixando-se misturar, com a ligação do aparelho, por mais 3 minutos. Passando-se esse processo, o concreto foi despejado da betoneira para uma fôrma (Figura 37), onde o concreto que estava em ótimo estado (flúido) foi reservado para, posteriormente, dá-se início a moldagem dos corpos de prova prismáticos, ou seja, a moldagem dos tijolos recicláveis de garrafa PET.

Figura 37 - Concreto preparado sendo reservado na fôrma



Esse processo foi repetido 5 vezes, totalizando concreto suficiente para moldar 20 corpos de provas prismáticos e 1 CP' cilíndrico, mudando-se apenas as quantidades dos materiais de acordo com o modelo do tijolo reciclável e do corpo de prova (Figura 38).

Figura 38 - Concreto pronto para moldar os corpos de prova do tipo fêmea



Com as fôrmas de madeira lubrificadas com o desmoldante na proporção de 1:3 recomendada pela embalagem, ou seja, 1 copo de 300ml de desmoldante para 3 copos de 300ml de água, foi iniciada a moldagem dos tijolos recicláveis de acordo com a NBR 5738/2015, a qual recomenda-se que para corpos de prova prismáticos, devem-se ter 3 camadas de concreto por fôrma. Dessa maneira, colocou-se a primeira camada de concreto na fôrma, não contendo ainda as garrafas PET, distribuindo-se toda a mistura de maneira uniforme pelo local.

Feita a distribuição uniforme do concreto na primeira camada, partiu-se para o adensamento manual, que serviu para movimentar o material em análise e retirar os espaços vazios nele existentes, tornando a mistura mais compacta. O adensamento foi realizado com o uso de uma haste de aço cilíndrica com superfície lisa de 16mm de diâmetro e com comprimento de 60cm. Segundo a norma, para moldes prismáticos, a quantidade de golpes dados com a haste para adensar o material, varia conforme as dimensões do molde. Nesse caso, como a dimensão máxima do prisma foi de 26cm, foram dados 200 golpes por camada (Figura 39).

Figura 39 – Realização do adensamento na primeira camada de concreto na fôrma de madeira



Antes da colocação da segunda camada de concreto, as quatro garrafas PET foram encaixadas no molde através das duas entradas de 9cm cada. Com a fixação e nivelamento das duas em cima da primeira camada, foi colocada a segunda de concreto e realizado o abatimento também com 200 golpes (Figura 40).

Figura 40– Segunda camada de concreto com a colocação das garrafas PET



Por fim, colocou-se a terceira e última camada de concreto na fôrma. Com isso, o abatimento ocorreu e em seguida foi feito o acabamento do concreto, deixando-o mais liso em sua superfície através do auxílio de uma colher de pedreiro (Figura 41). Esses processos foram feitos para todos os 10 moldes de tijolo reciclável de garrafa PET tipo macho.

Figura 41 – Finalização da última camada de concreto do tijolo



Após a moldagem dos 10 tijolos tipo macho e com a preparação do concreto de dosagem específica para os tijolos fêmea, a moldagem dos tijolos do tipo fêmea foi iniciada. A única diferença no processo de moldagem do tijolo do tipo macho para o do tipo fêmea foi a maneira de encaixar as garrafas PET antes da segunda camada de concreto ser colocada na fôrma. Nesse tipo, as garrafas iam abertas, impedindo que um vácuo fosse criado dentro do conjunto de garrafas. Esse vácuo evitava que a garrafa sofresse certo amassamento ao receber o peso do concreto (terceira camada). Assim, para impedir que as garrafas amassassem, elas foram preenchidas com areia (Figura 42), garantindo, assim, tanto que a areia preencheria os espaços vazios das garrafas, quanto que apenas com o fechamento do conjunto com a tampa (sem a adição da areia) o vácuo pudesse não ser criado; resistindo ao peso do concreto que seria colocado acima delas.

Figura 42 – Garrafa preenchida com areia



Feito isso, percebeu-se que a areia colocada estava caindo da garrafa quando ela era encaixada no molde. Diante esse acontecimento, usaram-se os fundos dessas garrafas, que haviam sido guardados previamente na intenção de

suprir qualquer problema que pudesse acontecer. Com a utilização dos fundos como tampas, fechando o conjunto “garrafa-areia”, todo o material ficou dentro das garrafas, comprovando a necessidade de todo o volume das garrafas ser preenchido para que as garrafas não amassassem com o peso do concreto (Figura 43).

Figura 43 – Tijolos do tipo fêmea preenchidos no interior das garrafas com areia, as quais foram fechadas com o fundo das mesmas



Com todos os 20 tijolos recicláveis de garrafa PET prontos, fez-se a identificação e realizou-se a pesagem de cada um deles. Assim, seguiram-se novamente as recomendações da norma técnica, referente ao tempo de cura inicial. Segundo ela, os corpos de prova prismáticos deveriam ser reservados em uma superfície horizontal rígida, livre de vibrações e de qualquer outra ação que pudesse perturbar o concreto, durante 48 horas (Figura 44).

Figura 44 – Moldes identificados e colocados em local plano, de acordo com a norma, cumprindo a cura inicial



Com a conclusão da moldagem dos tijolos recicláveis, foi iniciada a moldagem, após produção do concreto dosado, do corpo de prova cilíndrico, que forneceria a resistência bruta do concreto e não a do bloco, realizada seguindo praticamente o mesmo procedimento de moldagem dos tijolos. Como o seu formato era cilíndrico e não prismático, de acordo com a NBR 5738, a quantidade de camadas tornou-se apenas 2 e o número de golpes foi reduzido para 12 por camada. A fôrma desse CP era metálica e de fácil manuseio (Figura 45). Além disso, o tempo de cura inicial deixou de ser 48 horas e passou a ser de 24 horas.

Figura 45 – Fôrma metálica com concreto moldado



Após 24 horas, o corpo de prova cilíndrico foi desenformado, através da abertura da válvula existente na fôrma de maneira rápida e prática, além de colocado no tanque para concluir o processo de cura. Passadas às 48 horas da cura inicial, os tijolos recicláveis foram desmoldados com o auxílio de uma chave de fenda (Figura 46a) e sucessivamente com uma desempenhafusadeira para a separação das peças que formavam as fôrmas, as quais foram todas desassociadas (Figura 46b).

Figura 46 – (a) Desmolde da fôrma com chave de fenda, (b) Fôrmas de madeiras sendo separadas



Com a desmoldagem, percebeu-se que ocorreu um excelente adensamento do concreto porque os blocos de garrafa PET estavam lisos, sem poros muito expostos, evidenciando isso, Figura 47.

Figura 47– Tijolos de Garrafa PET desmoldados



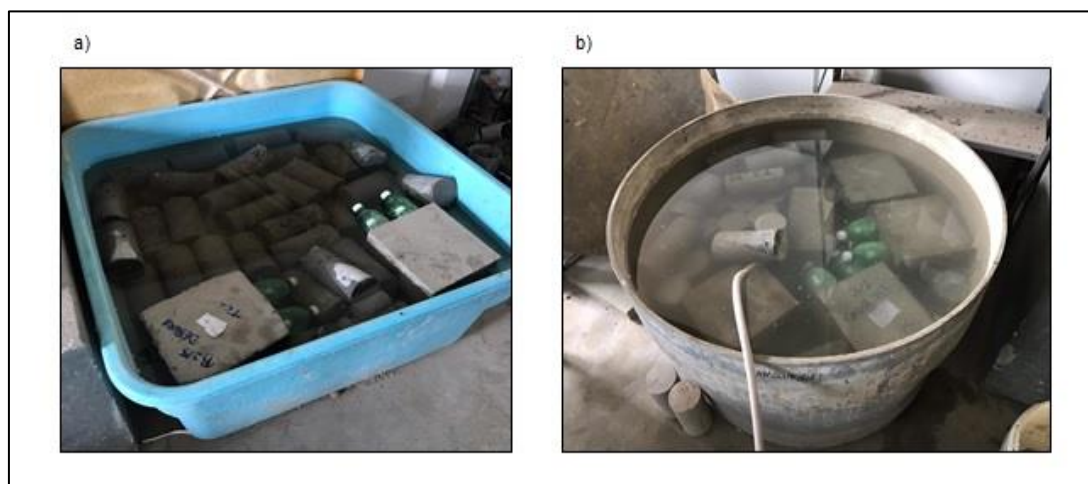
Além disso, os tijolos foram previamente encaixados para que fosse obtida uma resposta antecipada da adequação das medidas do projeto à realidade (Figura 48).

Figura 48 – Tijolos recicláveis sendo previamente encaixados



Posteriormente, seguindo a norma, os tijolos foram colocados em tanques com soluções de saturação de hidróxido de cálcio para a conclusão do processo de cura do concreto. Como o tanque já continha outros CP's precisou-se utilizar dois, um tanque retangular (Figura 49a) e outro circular (Figura 49b).

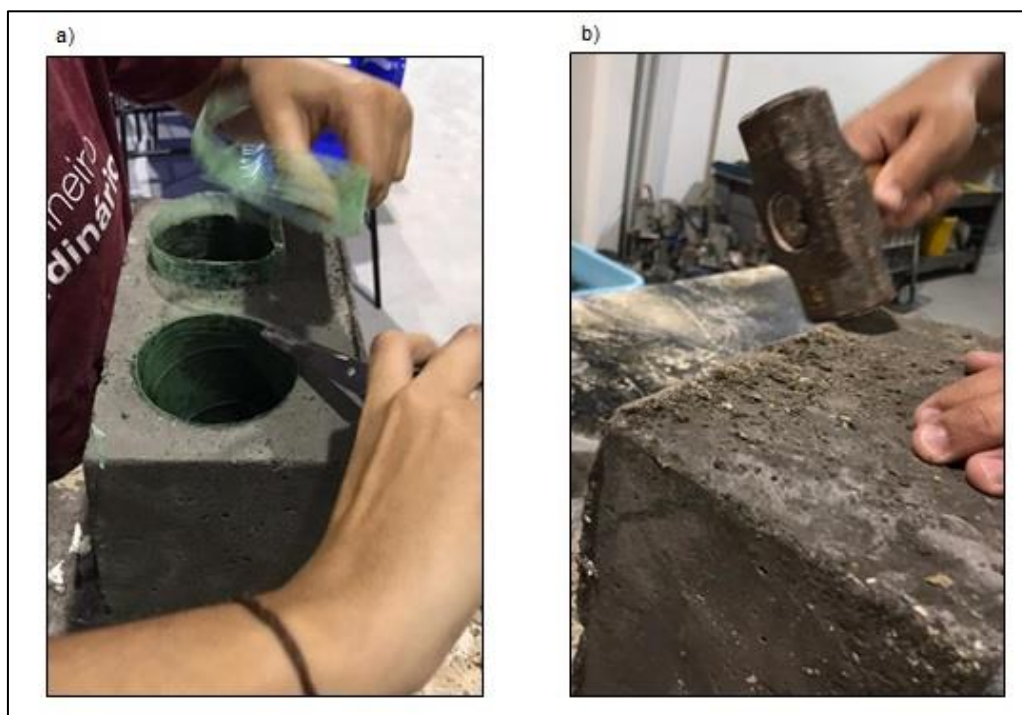
Figura 49– (a) Tanque de cura retangular, (b) Tanque de cura circular



4.5. Resistência à compressão do tijolo sustentável

Com a necessidade da análise da resistência tanto dos blocos, quanto do concreto, houve a precisão de nivelar os elementos antes da realização do ensaio, de acordo com a NBR 5739/2007. Assim, os tijolos recicláveis do tipo fêmea precisaram da realização de um corte na parte da garrafa que ficou passando do nível do concreto, para permitir o encaixe perfeito dos tijolos (Figura 50a). Feito isso, as arestas de todos os blocos recicláveis foram niveladas com o auxílio de um martelo para que a carga fosse uniformemente distribuída na superfície dos tijolos, garantindo um resultado mais seguro e preciso (Figura 50b).

Figura 50 – (a) Corte da parte da garrafa que ficou evidente no tijolo tipo fêmea, (b) Nivelamento das arestas do tijolo sustentável de garrafa PET



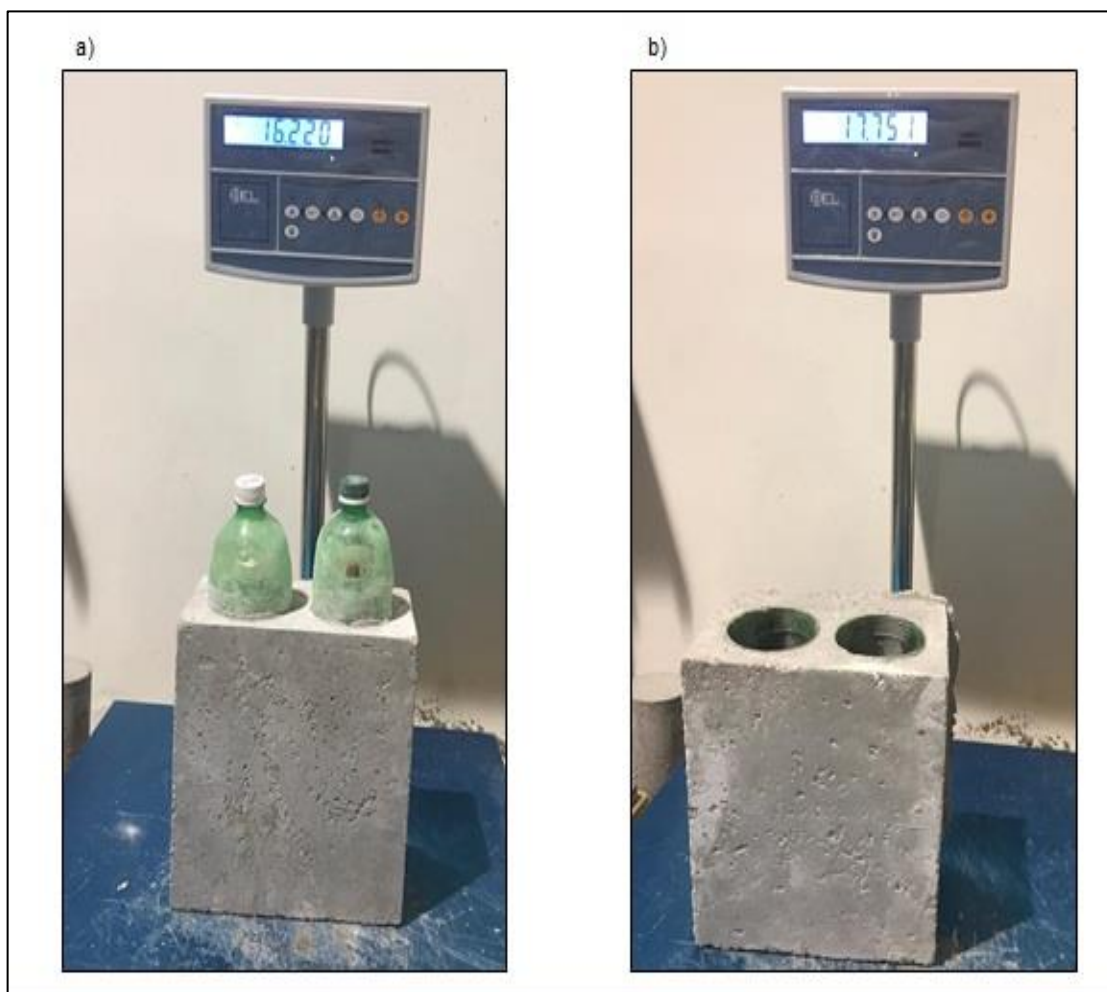
Os corpos de prova cilíndricos também foram nivelados, porém na máquina de retífica (Figura 51), a qual o laboratório possuía, sendo ideal para esse formato, também com a função de distribuir uniformemente a carga aplicada pelo equipamento de análise de resistência à compressão aplicou.

Figura 51 – Retificação do corpo de prova cilíndrico



Com todos os elementos retificados, cada um foi pesado para que fosse feito um comparativo do peso dos blocos e do CP antes da cura aos 7 dias e dos blocos após cura (aos 28 dias) com a secagem natural do bloco do tipo macho (Figura 52a) e do bloco do tipo fêmea (Figura 52b).

Figura 52 – (a) Pesagem do tijolo 1/1 do tipo macho após dos 28 dias, (b) Pesagem do tijolo 3/2 do tipo fêmea também após dos 28 dias



Dessa forma, comparando-se os resultados do peso do momento que foi moldado (possuindo fôrmas de 0,605kg) com o do momento de depois da cura. Além disso, foi calculada a média de perda de água dos tijolos do tipo macho e dos do tipo fêmea, conforme a Tabela 3.

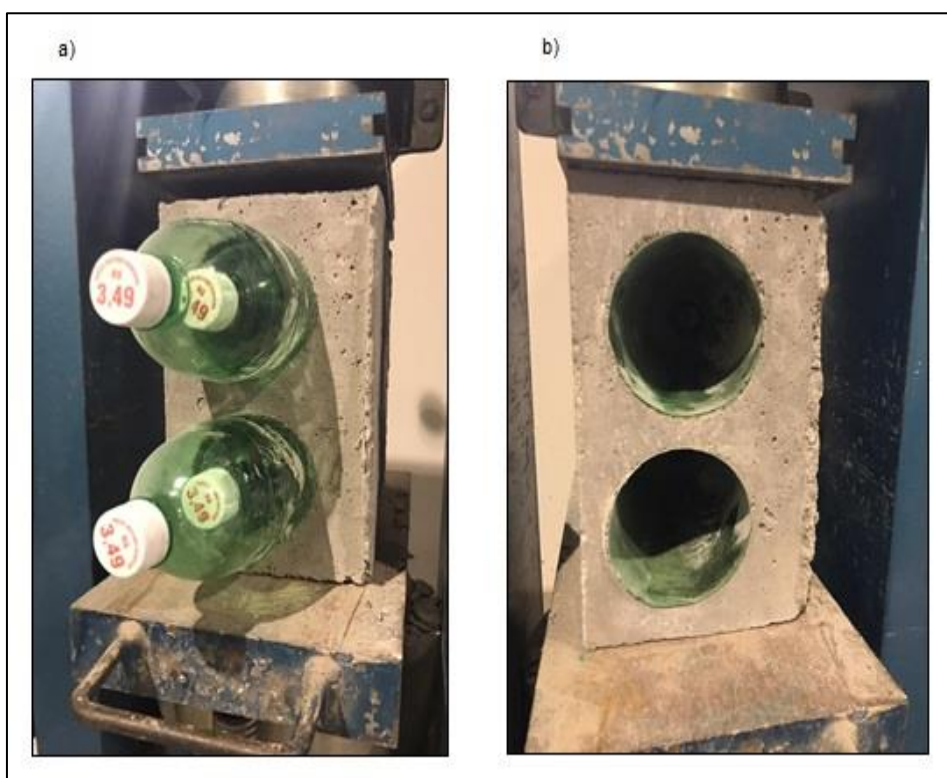
Tabela 3 – Comparação dos valores dos pesos dos tijolos antes e depois da cura

COMPARAÇÃO DAS MASSAS DOS TIJOLOS SUSTENTÁVEIS DE GARRAFA PET ANTES DA CURA INICIAL E DEPOIS DO FIM DA MESMA				
TIJOLOS	ANTES DO INÍCIO DA CURA		DEPOIS DO FIM DA CURA	Perda de Água kg
	Massa com a Fôrma (kg)	Massa sem a Fôrma (kg)	Massa sem a Fôrma (kg)	
1/1 (M)	18,26	17,65	16,22	1,43
1/2 (M)	18,11	17,50	16,74	0,77
1/3 (M)	17,66	17,06	16,57	0,49
1/4 (M)	16,82	16,22	15,98	0,23
1/5 (M)	18,06	17,45	16,65	0,81
2/1 (M)	16,96	16,36	16,02	0,33
2/2 (M)	17,53	16,92	16,24	0,68
2/3 (M)	17,98	17,37	16,94	0,43
2/4 (M)	18,01	17,41	17,18	0,23
2/5 (M)	18,18	17,57	17,23	0,34
3/1 (F)	20,27	19,67	18,23	1,44
3/2 (F)	19,88	19,28	17,751	1,53
3/3 (F)	19,92	19,32	17,36	1,96
3/4 (F)	20,65	20,04	19,19	0,86
3/5 (F)	20,82	20,21	19,52	0,69
4/1 (F)	21,39	20,78	19,55	1,23
4/2 (F)	21,26	20,65	18,71	1,94
4/3 (F)	20,50	19,90	19,00	0,90
4/4 (F)	19,85	19,24	18,47	0,77
4/5 (F)	19,74	19,14	18,45	0,68
Média de perda de água (M)		0,58	Média de perda de água (F)	1,2

Segundo os resultados da comparação entre os pesos, observou-se que houve uma média de perda de água maior para os tijolos do tipo fêmea, mas isso não ocorreu exatamente por conta da quantidade de água, mas sim porque, quando pesados inicialmente (ainda com as fôrmas), esses blocos continham areia dentro das garrafas para preenchimento total do volume, o qual evitaria amassamento das mesmas. Por conta disso, nos cálculos, pensou-se que ocorreu uma perda maior de água, porém a proporção foi praticamente à mesma, descontando-se a presença da areia.

Diante disso, os tijolos recicláveis foram posicionados na máquina para o início do ensaio na direção perpendicular às garrafas (elas estavam na horizontal), tornando a área de superfície de contato de dimensões 26 cm x 14cm para o tipo macho (Figura 53a) e para o tipo fêmea (Figura 53b) para que a carga passasse também pelas garrafas. Já os corpos de prova cilíndricos foram posicionados na vertical. Cada tijolo possuiu cerca de 40 segundos para ser rompido por completo, alcançando o resultado da resistência à compressão em tonelada força. O CP precisou de, no máximo, 18 segundos.

Figura 53 – (a) Tijolo sustentável do tipo macho posicionado no equipamento, (b) Tijolo sustentável do tipo fêmea posicionado no equipamento



Percebeu-se que a ruptura ocorreu de maneira cisalhante (inclinada 45°), de acordo com a Figura 54.

Figura 54 – Ruptura cisalhante no tijolo reciclável de PET



Como os resultados da resistência à compressão fornecidos pela máquina eram na unidade tonelada força (Figura 55), houve a necessidade de fazer a conversão para megapascal (Mpa) através da Equação 6.

Figura 55 – Representação da resistência à compressão do Bloco 3/1 do tipo fêmea em toneladas força



Com isso, fez-se o comparativo das resistências dos blocos ao 7º dia e ao 28º dia, confirmando, conforme a NBR 5738/2015, que ao sétimo dia têm-se 70% da resistência almejada e com vinte e oito dias, 100% (Tabela 4).

Tabela 4 – Resultados do Ensaio de Resistência à Compressão

COMPARATIVO ENTRE AS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DOS TIJOLOS DE PET (7 E 28 DIAS)					
7 DIAS			28 DIAS		
TIJOLOS	Resistência em Toneladas	Resistência em MPa	TIJOLOS	Resistência em Toneladas	Resistência em MPa
1/3 (M)	30,26	8,84	1/1 (M)	47,13	13,76
1/5 (M)	31,43	9,18	1/2 (M)	42,10	12,38
2/1(M)	32,24	9,41	1/4 (M)	36,52	10,66
2/2 (M)	32,15	9,39	2/3 (M)	33,77	9,86
2/5 (M)	29,12	8,50	2/4 (M)	36,10	10,54
3/1 (F)	38,95	11,37	3/2 (F)	58,35	17,04
4/1 (F)	31,92	9,32	3/3 (F)	41,51	12,12
4/2 (F)	37,45	10,93	3/4 (F)	51,34	14,99
4/5 (F)	38,53	11,25	3/5 (F)	57,54	16,80
4/4 (F)	37,14	10,84	4/3(F)	34,57	10,09

Portanto, com esses resultados, teve-se a confirmação de que os tijolos sustentáveis possuem uma excelente resistência à compressão em comparativo com a resistência dos tijolos cerâmicos de vedação, os quais, conforme a NBR 7171/92, possuem, para furos na horizontal, 1,5 MPa e para furos na vertical 3,0 MPa. Assim, observou-se que, aos 7 dias de cura, para 10 tijolos, o menor valor alcançado (tijolo 2/5 macho de 8,50 MPa) atendeu aos 50% do valor da resistência mínima, de acordo com a norma NBR 5738/2015, evidenciando a coerência existente no cálculo da dosagem do concreto e na produção do mesmo. Aos 28 dias, para os outros 10 tijolos, percebeu-se, mais claramente, que os tijolos do tipo fêmea atingiram resistências maiores que os do tipo macho, isso se dá a maior quantidade de concreto presente nos tijolos fêmea, aumentando também esse valor. Ademais, todos os tijolos possuíram resistências que, conforme a norma em análise, satisfazem a eficiência do elemento construtivo, garantindo, assim, que os tijolos sustentáveis podem ser usados nas elevações construtivas.

Além da excelente resistência, após a ruptura, percebeu-se que as garrafas PET, mesmo depois de receber a carga do peso do concreto e da ruptura, permaneceram intactas (Figura 56), sem nenhum tipo de amasso, o que torna ainda

mais preocupante a demora em relação à degradação das mesmas nas ruas, como resíduos.

Figura 56 – Garrafas PET intactas depois do recebimento de cargas



Sendo assim, eles são tijolos que podem ser produzidos por qualquer pessoa, diferentemente dos cerâmicos que necessitam de fábricas e fornos, são utilizados elementos recicláveis em sua confecção, evitando a continuidade da poluição ambiental por meio de resíduos sólidos e, além disso, tornam-se elementos estruturais, garantindo a segurança de pessoas com baixa renda ao construírem habitações de interesse social com esses tijolos de garrafa PET de encaixe (Figura 57).

Figura 57 – Tijolos sustentáveis, macho e fêmea, encaixados.



O corpo de prova cilíndrico, que foi moldado com o objetivo de analisar a resistência bruta do concreto, conquistou, aos 7 dias de cura, 17,76 tonelada/força e, convertendo, 22,19 MPa. Concluindo-se que a resistência aos 7 dias foi ainda maior que a calculada, 15MPa.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho desenvolveu dois modelos de tijolos sustentáveis de garrafa PET de encaixe para alvenaria, macho e fêmea, com tecnologia simples que pode ser facilmente produzido por uma população de baixa renda, além de analisar a resistência à compressão dos mesmos. Foram utilizados cimento CP II Z 32 RS, areia média, brita 0, água e garrafas PET, representando uma contribuição no que diz respeito à sustentabilidade.

A forma dos tijolos sustentáveis de garrafa PET proporciona uma execução mais rápida e mais econômica, visto serem necessários para a produção de um metro quadrado cerca de 38 tijolos cerâmicos, de medidas 9cm x 14 cm x 19cm; já uma alvenaria de tijolo sustentável, de medidas 14cm x 24cm x 26cm, precisa de apenas 16 tijolos a cada metro quadrado.

Dessa forma, de acordo com a análise dos resultados da fabricação dos tijolos e dos ensaios de resistência à compressão, pode-se dizer que os tijolos sustentáveis de PET demonstram capacidade técnica para tornarem-se competitivos no mercado, possuindo uma resistência à compressão de, aproximadamente, 5 vezes maior que a de um tijolo cerâmico, ou seja, podendo até serem usados como tijolos estruturais. Contudo, são necessários estudos complementares que avaliem outras características técnicas para o bom desempenho desses tijolos como material de construção, como, por exemplo, o ensaio de isolamento termoacústico.

Diante isto, percebeu-se também que como déficit brasileiro está quase totalmente voltado às classes sociais de baixa renda, esse segmento social torna-se importante para a implantação de alternativas construtivas mais baratas e simples, pois elas permitem que a própria população fabrique o elemento construtivo, gerando renda e lucro. Isso pode ser evidenciado com o aumento das construções de habitações de interesse social.

Conclui-se que o aperfeiçoamento das tecnologias disponíveis para habitação de interesse social e a reutilização de garrafas de PET para a fabricação de tijolos sustentáveis, assim como os estudos relacionados à resistência à compressão, mostram grande potencial através do insumo para a produção de materiais de construção em substituição aos materiais convencionais, transformando o destino final desse material polimérico em um destino mais nobre, além de confirmar os aspectos positivos da coleta seletiva para o meio ambiente. Por fim, os resultados

deste trabalho somam-se aos já realizados referentes à utilização de garrafas PET na fabricação de tijolos, de forma positiva, contribuindo com novas perspectivas para as soluções de cunho ambiental, social, político e econômico do País.

6. SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Como forma de continuidade do estudo sobre tijolos sustentáveis de garrafa PET, é sugerida que seja realizado o ensaio de isolamento termoacústico, para analisar essas características importantes. Além disso, executar o ensaio de resistência ao fogo, como também estudar tijolos semelhantes, porém empregando-lhes outros materiais, como, por exemplo, o gesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA. **Manual Técnico de Alvenaria**. São Paulo, ABCI/PROJETO, 1990.

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland**. 2002

ABIKO, Alex Kenya. **Introdução à gestão habitacional**. Disponível em <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00012.pdf> Acesso em: Julho de 2018.

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET. **Reciclagem de Embalagens PET**. Disponível em <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=46>> Acesso em: Agosto de 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16697**: Cimento Portland: requisitos, 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11578-1991**: Cimento Portland Composto — Terminologia e requisitos, 1991.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11579**: Agregados: Determinação da finura do cimento Portland — Terminologia e requisitos, 2012.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – preparo, controle, recebimento e aceitação, procedimento — Terminologia e requisitos, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-2**. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação — Terminologia e requisitos, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistema de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5738**: concreto – procedimento para moldagem de corpo de prova e cura de corpos de prova — Terminologia e requisitos, 2015.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5739** – Concreto, ensaio de compressão de corpos de prova — Terminologia e requisitos, 2007.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto, procedimentos — Terminologia e requisitos, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7171/92**: Blocos cerâmicos para alvenaria — Terminologia e requisitos, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**: Agregados para concreto: especificação, 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7217**: Agregados: Determinação da composição granulométrica — Terminologia e requisitos, 1987.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica de agregado graúdo para concreto — Terminologia e requisitos, 2001.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 45/2006** – Agregados, determinação da massa unitária e do volume de vazios. 2006.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM ISO 7500-1** – materiais metálicos, calibração de máquinas de ensaio estático uniaxial — Terminologia e requisitos, 2004.

ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2013. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>> Acessado em: 28/10/2018.

ALVES, J.D. **Manual de tecnologia do concreto**. Goiânia, 1987.

ARAGON, A.T; GHIRALDELLO, L. **Produtos a base de polietileno (PET) na construção civil: um estudo diagnóstico no município de Poços de Caldas**. Minas Gerais, 2014.

AWAJA, F.; PAVEL, D. **Recycling of PET**. Europa, 2005.

BANET, E. **Concreto**. São Paulo, 2007.

BARBOSA, N. P. **Considerações sobre Materiais de Construção Convencionais e Não Convencionais**. Paraíba, 2005.

BARBOSA, N.P., GHAVAMI, K. **Materiais de construção civil e princípios de engenharia de materiais**. São Paulo, 2007.

BARROS, M. M. S. B. **O processo de produção das alvenarias racionalizadas**. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais (1º.: 1998: São Paulo) Anais. São Paulo 1998.

BELLINGIERI, J. C.. **A indústria cerâmica em São Paulo e a 'invenção' do filtro de água: um estudo sobre a Cerâmica Lamparelli – Jaboticabal (1920-1947)**. ABPHE, Caxambu, 2003.

BEZERRA, L.A.C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto em EPS como agregado graúdo**. Rio Grande do Norte, 2003.

BONDUKI, Nabil Georges. **Origens da Habitação Social no Brasil**. Disponível em <<http://analisesocial.ics.ul.pt/documentos/1223377539C9uKS3pp5Cc74XT8.pdf>>. Acesso em: Julho de 2018.

BORGES, Raphael. **Análise do desenvolvimento térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa-MG**. Minas Gerais, 2013.

BUENO, Eduardo. **Avaliação das propriedades tecnológicas dos agregados britados produzidos na região de Ijuí**. Rio Grande do Sul, 2008.

BUONFIGLIO, Leda Velloso. **Habitação de Interesse Social**. Disponível em <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/1980>> Acesso em: Julho de 2018.

CARVALHO, M. C. R. **Caracterização da tecnologia construtiva de Eladio Dieste: contribuições para a inovação do projeto arquitetônico e da construção em alvenaria estrutural**. Tese (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

CASA CIVIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Brasil. 2010. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: Agosto de 2018.

CBCS. **Materiais, Componentes, e a Construção Sustentável**. Brasil. 2009. Disponível em <http://www.cbcs.org.br/_5dotSystem/userFiles/posicionamentos/CBCS_CT Materiais _Posicionamento _Materiais%20componentes.pdf> Acesso em Agosto de 2018.

CEMPRE – **Compromisso Empresarial para Reciclagem**. 2011. Disponível em <<http://www.cempre.org.br/>> Acesso em: Agosto de 2018.

CORRÊA, L. R. **Sustentabilidade na construção civil**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Belo Horizonte, 2009.

CORREIA, C.M.P. **Conforto termo-acústico de uma habitação de baixo custo**. São Paulo, 2009.

CREMONINI. **Desenvolvimento de um método de dosagem de concretos de alta resistência com baixo consumo de cimento**. São Paulo, 2001.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de Alvenaria Estrutural**. ANICER – Associação Nacional da Industria Cerâmica, Porto Alegre - RS, 1999

ECYCLE. **Os oceanos estão virando plástico**. Disponível em <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/35-atitude/1259-os-oceanos-estao-virando-plastico.html>> Acesso em: Agosto de 2018.

ESCARIZ, R. C., **Desempenho à compressão de compósitos reforçados por fibras de coco**. São Cristóvão, 2008.

EVANGELHISTA, A.C.J. **“Avaliação da Resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos”**, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, Rio de Janeiro, junho 2002.

FERREIRA, J.A.C; ZANNIN, P.H.T. **Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições *in situ* e simulação computacional**. Porto Alegre, 2007.

FITTIPALDI, Mônica. **Habitação social e arquitetura sustentável em Ilhéus/BA**. 2009. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

FONSECA, Gustavo. **Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil: uma abordagem epistêmica**. Belo Horizonte, 2010.

FORMIGONI, Alexandre; CAMPOS, Ivan. **Reciclagem do PET no Brasil**. São Paulo, 2012. Disponível em <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/1200_1200_ARTIGO%20-%20RECICLAGEM%20DE%20PET%20NO%20BRASIL.pdf> Acesso em: Agosto de 2018.

FOWLER, D.W. **Current status of polymer concrete in United States**. EUA. 1998;

FRANÇA, P.; NIEMEYER, M.L. **Análise de conforto acústico do Conjunto Habitacional Bento Ribeiro Dantas, e avaliação da interferência do ruído da via expressa linha amarela sobre as habitações**. Búzios, 2011.

FROTA A. B.; SCHIFFER S. R. **Manual do Conforto Térmico**. 5ª Edição. São Paulo. 2001.

GAP (Grupo de Arquitetura e Planejamento). **Habitação Popular: Inventário da Ação Governamental**. FINEP/Projeto, São Paulo, 1985.

GEMELLI, C.B. **Avaliação do conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas: o caso da escola Municipal de ensino fundamental Frei Pacífico**. Rio Grande do Sul. 2009.

GODOY, A. **A Primavera Silenciosa (Silent Spring)**. Virtual Book. 2009. Disponível em: <<http://amaliagodoy.blogspot.com/2009/03/primavera-silenciosa-silent-spring.html>> Acesso em agosto de 2018.

GRAF, H. F. **Transmitância Térmica & Energia Incorporada na Arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721**. Curitiba, 2011

GRIGOLETTI, G. de C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2001.

GRZYBOWSKY, G. T. **Conforto térmico nas escolas públicas em Cuiabá**. Cuiabá, 2004.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: Pini, 2001.

HOUBEN H., GUILLAUD H. **Traité de construction em Terre**. Paréntheses, 1989.

IPEA- Instituto da Pesquisa Econômica Aplicada. **Os que sobrevivem de lixo**. 2013. Disponível em: <http://desafios.ipea.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2941:catid&Itemid=23> Acessado em: 28/10;2018.

JOHN, V. M., & Agopyan, V. **Reciclagem de resíduos da construção**. Seminário Reciclagem de Resíduos Sólidos Domésticos. São Paulo, 2009.

KANNING, R.C. **ISOPET – Análise do desempenho térmico de um protótipo habitacional construído com blocos de concreto com isopor e garrafa PET.** Santa Catarina, 2007.

KOWARICK, Lúcio. **Espoliação Urbana, Paz e Terra.** Rio de Janeiro, 1981.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** São Paulo, 1997.

LIMA, André. **O processo produtivo do cimento Portland.** Belo Horizonte, 2011.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Execução e inspeção da alvenaria racionalizada.** São Paulo, 2004.

MANCINI, S.D. **Determinação da variação da viscosidade Intrínseca do Poli (Tereftalato de Etileno) de Embalagens.** Ceará, 2004.

MARAGNO, G. V. **Adequação bioclimática da arquitetura de Mato Grosso do Sul.** Campo Grande, 2002.

MARICATO, Ermínia. **O “Minha Casa” é um avanço, mas segregação urbana fica intocada.** Carta Maior, maio de 2009.

MARQUES, Neto. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil.** São Carlos, 2005

MARTINS, Paulo. **Influência da granulometria do agregado miúdo na trabalhabilidade do concreto.** Feira de Santana, 2008.

MATEUS, Afredo G. **Meio Ambiente e Ecologia.** São Paulo, 2009.

MEDEIROS, L. F. R., & Macêdo, K. B. **Catador de material reciclável: uma profissão para além da sobrevivência?** 2006.

METHA, P.K e MONTEIRO, P..J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, 1994.

MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S/A. **Perfil da Indústria de Cerâmica no Estado do Paraná.** Curitiba: IPARDES, 2000.

MONTANARI, Nicolas. **Estudo do agregado miúdo: caracterização e efeitos da granulometria na produção do concreto.** São José dos Campos, 2016.

MUNHOZ, F. C. **Análise térmica do ambiente de repouso do trabalhador em casas populares.** Bauru, 2005.

NETO e BERTOLI, M. F. F e S. R. **Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal.** Disponível em: < <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678->

86212010000400012&script=sci_arttext> Acesso em: agosto de 2018. Porto Alegre, 2010.

NETO, M.F.F. **Nível de conforto acústico: uma proposta para edifícios residenciais**. São Paulo, 2009.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto** – 2ª Edição – Ed. Pini, São Paulo, 1997.

NUNES, B. M. Dossiê técnico – **Impactos Ambientais na Indústria da cerâmica Vermelha**. Rio de Janeiro, 2012.

NUNES, M. F. O. **Desempenho Acústico de Sistemas de Piso: Estudos de Caso Para Isolamento ao Ruído Aéreo e de Impacto**. Caxias do Sul, 2014.

OFFE, C. **Problemas Estruturais do Estado Capitalista**. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 1984.

OLIVEIRA, F. L.; HANAI, J. B. **Análise do importamento de paredes de alvenaria recuperadas com revestimentos resistentes**. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 1998.

OLIVEIRA, M.C.; MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de cerâmicas brancas e de revestimento**. São Paulo, 2006.

ORNSTEIN, Sheila. **Avaliação pós-ocupação (APO) do ambiente construído**. Marcelo Roméro (colaborador). São Paulo: Studio Nobel: Editora da Universidade de São Paulo, 1992.

ORSNTEIN, S.W.; ROMERO, M. **Avaliação pós-ocupação do ambiente construído**. São Paulo, 1992.

PACI, M., LA MANTIA, F.P. **Competition between degradation and chain extension during processing of reclaimed poly (ethylene terephthalate)**, *Polymer Degradation and Stability*. 1998.

PAGE, A.W; SHRIVE, N.G. **A critical assesment of compression tests for hollowblock masonry**. EUA, 1998.

PETRUCCI, E.G. **Concreto de cimento Portland**. São Paulo, 1981.

POLLI, T. **O isolamento acústico comparado aos investimentos financeiros em edifícios multifamiliares de Florianópolis**. Santa Catarina, 2007.

ROCHA, Rebeca. **Avaliação e comparação das propriedades mecânicas de uma argamassa pronta não cimentícia para alvenaria com e sem função estrutural frente as argamassas convencionais**. Campo Mourão, 2012.

SABBATINI, Fernando Henrique. **O processo construtivo de Edifícios de alvenaria estrutural silico-calcárea**. São Paulo. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade de São Paulo, 1984.

SAIDI, L.F. **Degrad. Stab.** 82. EUA, 2003.

SALA, H. B. **Controle de qualidade geométrica de execução de alvenaria de vedação racionalizada em bloco cerâmico**. São Paulo, 2008.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M; MANRICH, S. **Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas**. São Carlos, 2004.

SANTOS, D.C.J.V. **Avaliação da aplicação da norma de ruído ambiental em municípios da região de São João da Boa Vista**. São Paulo, 2004.

SANTOS, F. C. **Avaliação dos projetos de alvenaria de vedação utilizados para construção de edifícios de múltiplos pavimentos**. Universidade Federal de Goiás, 2010.

SOARES, A. P. **A aplicação da coordenação modular para o projeto de vedações verticais em alvenaria**. São Paulo, 2008.

SPANNENBERG, M.G. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: estudo de caso em Manaus-RS**. Santa Catarina, 2006.

TAPAJÓS, N.S. **Materiais Reutilizáveis na Construção Civil**. Pará, 2007.

TAPIA, R.S.E.C. et al. **Manual para a indústria da cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: SEBRAE/RJ, 2000.

THOMAZ, E. **Tecnologia, Gerenciamento e Qualidade na Construção**. São Paulo. Editora Pini. 2001.