FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

RENATO YOCHIO BETSUYAKU

CONSTRUÇÃO DE ECO TIJOLOS COM ADIÇÃO DE AREIA DIATOMÁCEA

VOLTA REDONDA
2015

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

CONSTRUÇÃO DE ECO TIJOLOS COM ADIÇÃO DE AREIA DIATOMÁCEA

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais reciclados, compósitos, nanomateriais e biomateriais, linha de Materiais Compósitos.

Aluno:
Renato Yochio Betsuyaku

Orientador:
Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior

VOLTA REDONDA
2015

B562c Betsuyaku, Renato Yochio.
Construção de eco tijolos com adição de areia diatomácea. / Renato Yochio Betsuyaku. – Volta Redonda: UniFOA, 2015.

132 p. Il.

Orientador(a): Dr. Horácio Guimarães Delgado Filho

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2015.

1. Construções sustentáveis - dissertação. 2. Areia diatomácea. 3. Eco tijolo. I. Delgado Filho, Horácio Guimarães. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD 721.0467

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Renato Yochio Betsuyaku

CONSTRUÇÃO DE ECO TIJOLOS COM ADIÇÃO DE AREIA DIATOMÁCEA

Orientador:

Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior

Banca Examinadora

Prof. Dr. Horácio Guimarães Delgado Júnior

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe

Prof. Dr. Dener Martins dos Santos

Dedico este trabalho a minha amada esposa e filha.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos: A Deus;
Aos meus familiares pelo apoio e paciência; Ao professor Horácio pela orientação e incentivo; Ao funcionário Jorge Luiz Faria do Laboratório de Engenharia e Mecânica dos Solos da universidade Geraldo Di Biase (UGB), pelo grande auxílio ao longo do trabalho;
Ao Mestre Cervejeiro Sr. Severino Batista pela atenção e contribuição do material utilizado na pesquisa; Aos amigos que não mediram esforços e muito contribuíram neste trabalho; Aos funcionários do laboratório de Materiais do UNIFOA – Campus Três Poços e a todos os que direta ou indiretamente me ajudaram com a sua amizade, incentivando-me e mostrando-me o quanto é importante lutar por um objetivo.

RESUMO

A crescente expansão da construção civil com o desenvolvimento de novos materiais e técnicas construtivas, a inserção de resíduos e de materiais renováveis tem sido de suma importância para o desenvolvimento do setor construtivo e manutenção do meio em soluções sustentáveis. A areia diatomácea resultante da filtração nas cervejarias é um resíduo cuja estrutura cristalina apresenta diferentes funções. Podendo ser utilizada como agregado em concreto, contrapisos, enchimentos de laje, são incombustíveis e aliviam a carga estrutural. No Brasil por sua cultura o resíduo ainda é empregado de forma muito rara, sua exploração neste ramo é quase nula, assim como o incentivo de sua utilização em grande escala.

Sendo assim, este trabalho procura demonstrar o uso do resíduo da areia diatomácea como material constituinte do tijolo de solo cimento que pode ser utilizado como elemento estrutural ou de vedação de uma construção.

A sua utilização como substituto do agregado miúdo foi estudada em várias situações, onde alterou-se o percentual do resíduo em cada traço. São apresentados os resultados de resistência à compressão aos 28 dias e índice de absorção de água, os quais as amostras que obtiveram resultado superior a 1,7 Mpa, valor recomendado pela Norma NBR 10834/ABNT, podem ser utilizados como material de alvenaria não estrutural.

Palavras chave: Construções sustentáveis, areia diatomácea, tijolo de solo cimento, alvenaria, filtração de cerveja

ABSTRACT

The growing expansion of the construction industry with the development of new materials and building techniques, the insertion of waste and renewable materials has been of the utmost importance for the development of constructive industry and maintenance of the environment in sustainable solutions. The resulting sand diatom filtration in breweries is a residue whose crystalline structure has different functions. It can be used as aggregate in concrete, subfloor, fillers of slab, are non-combustible and alleviate the structural load. In Brazil by their culture the residue is still used very rare, its holding in this branch is almost zero, as well as the encouragement of their use on a large scale. Thus, this study seeks to demonstrate the use of the residue of sand diatom as constituent material of brick cement soil that can be used as structural element or seal of a construction. Its use as a substitute for the aggregate kid were studied in several situations, where was changed the percentage of residue in each trait. The results are presented for resistance to compression at 28 days and rate of water absorption, which samples obtained result greater than 1.7 Mpa, value recommended by NBR 10834/ABNT, can be used as material for masonry non-structural.

Keywords: Sustainable Construction, sand diatom, brick, soil cement, masonry, filtration of beer

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO 13
1.1 objetivos 14
1.1.1 Objetivo geral 14
1.1.2 Objetivos específicos 14

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 16
2.1 - Mercados cervejeiros no Brasil 16
2.1.1 Cervejarias regionais, micro cervejarias e cervejarias artesanais. 20
2.1.2 Processo de Filtração e Clarificação da Cerveja 20

2.2 - Sustentabilidade 22
2.2.1 Construções sustentáveis 24

2.3 Tijolos de solo cimento 25
2.3.1 Fabricação do tijolo solo-cimento 27
2.3.2 Normatização. 29
2.3.3 Teor de Umidade – Umidade de Moldagem 30
2.3.4 Prensagem 31
2.3.5 Cura 31

2.4 Sistemas construtivos 32

2.5 O solo 34
2.5.1 A escolha do solo 34
2.5.2 Caracterização do solo 35

2.6 Solos cimento 36

2.7 Tijolos de solo-cimento-resíduo de areia diatomácea 40

3 MATERIAIS e MÉTODOS 42
3.1 Solo 42
3.2 Cimento Portland
43
3.3 Água

3.4 Diatomita ou Terra diatomácea 45
3.4.1 Resíduo de Areia Diatomácea 47

3.5 Estudo do Solo 52
3.5.1 Teste do vidro (teste visual) 52
3.5.2 Coleta e preparação das amostras de solo 52
3.5.3 Caracterização do solo 53
3.5.4 Teor de umidade 54
3.5.5 Compactação Proctor Normal 54
3.5.6 Massa específica dos sólidos 58

3.5.7 Limites de consistência 58
3.5.8 Limite de Liquidez 58
3.5.9 Limite de Plasticidade 59
3.5.10 Análise granulométrica 59

3.6 Coleta e preparação do resíduo de areia diatomácea 60
3.6.1 Secagem primária do resíduo 60
3.6.2 Etapas de secagem. 61
3.6.3 Secagem na Estufa. 64
3.6.4 Destorroamento do resíduo de areia Diatomácea 65
3.6.5 Peneiramento. 66

3.7 Confecções das Amostras 67
3.7.1 Dosagem dos tijolos. 67
3.7.2 Homogeneização da mistura 69

3.8 Fabricações de tijolos de solo cimento. 71
3.8.1 Dimensão do tijolo 74
3.8.2 Quantidade de amostras 76
3.8.3 Cura das amostras 76
3.8.4 Método para a escolha dos tijolos. 77
3.8.5 Ensaio de Absorção de água 77
3.8.6 Ensaios de resistência à compressão. 80

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 82
4.1 Imagens Microscópicas do resíduo. 82

4.2 Análises do solo 87
4.2.1 Teste do vidro 87
4.2.2 Granulometria 88
4.2.3 Ensaio para determinação da Umidade do solo 89
4.2.4 Ensaio para determinação do limite de liquidez e de plasticidade 90
4.2.5 Amostras Confeccionadas 90
4.2.6 Dimensão do tijolo 92
92
4.2.7 Ensaios de Absorção de água das amostras confeccionadas 94
4.2.8 Resultados obtidos nos ensaios à compressão. 99

5 CONCLUSÃO 105

6 BIBLIOGRAFIA 107

APÊNDICES 111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tijolo de solo cimento 25
Figura 2: Prensa Hidráulica 28
Figura 3: Sistema Construtivo 32
Figura 4: Argamassa de assentamento 33
Figura 5: Solo cimento 39
Figura 6: Ponto de coleta do solo. 42
Figura 7: Foto aérea do retaludamento de encosta 43
Figura 8: Cimento 44
Figura 9: Resíduo de areia diatomácea 47
Figura 10: Teste visual do solo 52
Figura 11: Secagem e preparação do solo retirado da jazida 53
Figura 12: Destorroamento 56
Figura 13: Cilindro 56
Figura 14: Preparação da amostra 56
Figura 15: Aplicação do apiloamento 56
Figura 16: Solo após apiloamento 57
Figura 17: Extração da amostra 57
Figura 18: Término do ensaio 57
Figura 19: Resíduo de areia diatomácea 60
Figura 20: Fogão industrial e chapa galvanizada para secagem inicial do resíduo. 61
Figura 21: Secagem primária do resíduo – Material seco 64
Figura 22: Estufa MED CLEAN – mod. 5 64
Figura 23: Material no interior da estufa 64
Figura 24: Material após secagem na estufa 65
Figura 25: Destorroamento do resíduo 65
Figura 26: Peneira 2,00 mm malha 10 66
Figura 27: Material sendo peneirado 66
Figura 28: Resíduo seco e peneirado 67
Figura 29: Medição do material 67
Figura 30: Betoneira Prática – 120 litros 70
Figura 31: Compressor a ar comprimido 70

Figura 32: Mistura após homogeneização 72
Figura 33: Sequência de fabricação dos tijolos na Prensa Hidráulica 73
Figura 34: identificação dos tijolos após a prensagem 74
Figura 35: Prensa Hidráulica - ECO Premium 75
Figura 36: Dimensões do tijolo 75
Figura 37: Cura dos tijolos e molhagem das amostras 76
Figura 38: Secagem na estufa 78
Figura 39: Pesagem após estufa 78
Figura 40: Imersão durante 24 horas 78
Figura 41: Pesagem após imersão em água de 24 horas 79
Figura 42: Prensa com placas para ensaio de compressão 80
Figura 43: retirada das ranhuras para colocação na prensa. 81
Figura 44: Tijolo na prensa hidráulica para ensaio à compressão 81
Figura 45: Microscópio Eletrônico de varredura 82
Figura 46: Areia diatomácea ampliada 200x 83
Figura 47: Areia diatomácea ampliada 400x 83
Figura 48: Areia diatomácea ampliada 800x 84
Figura 49: Areia diatomácea ampliada 800x 84
Figura 50: Areia diatomácea ampliada 1200x 85
Figura 51: Areia diatomácea ampliada 1500x 85
Figura 52: Areia diatomácea ampliada 2000x 86
Figura 53: Areia diatomácea ampliada 5000x 86
Figura 54: Resultado do ensaio do teste do vidro 87
Figura 55: Tijolos após prensagem 92
Figura 56: Medição da espessura 93
Figura 57: Prensa Cotenco 100
Figura 58: Posicionamento da amostra 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais resíduos sólidos gerados na indústria cervejeira 21

Tabela 2: Limites de resistência e Absorção de água 30

Tabela 3: Ensaio de Caraterização do Solo 36

Tabela 4: Resumo da classificação do cimento 44

Tabela 5: Dosagem das Amostras 69

Tabela 6: Nº de amostra por ensaios 77

Tabela 7: Resultado do teste do vidro 87

Tabela 8: Composição Granulométrica 88

Tabela 9: Resultado LL e LP 90

Tabela 10: Espessura média dos Tijolos 93

Tabelas 11: Determinação da Absorção de água 95

Tabelas 12: Resistência à compressão 100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Participação do mercado brasileiro 16

Gráfico 2: Importância do Mercado Cervejeiro 18

Gráfico 3: Mercado Cervejeiro no Brasil 19

Gráfico 4: TACC – Taxa Anual de Crescimento Composto 19

Gráfico 5: Curva Granulométrica 88

Gráfico 6: Teor de Umidade 89

Gráfico 7: Espessura Média dos Tijolos 94

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1: Processo de fabricação de tijolos de solo-cimento 28

Fluxograma 2: Caracterização do solo 48

Fluxograma 3 : Resíduo de areia diatomácea 49

Fluxograma 4: Confecção dos tijolos 50

Fluxograma 5: Ensaios das amostras 51

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Ensaios 111

Apêndice B – Equipamentos 116

Apêndice C – Classificação granulométrica 118

Apêndice D – Umidade ótima 120

Apêndice E – Limite de liquidez e plasticidade 121

Apêndice F – Análise granulométrica 125

Apêndice G – Análise econômica 127

1 - INTRODUÇÃO

É bastante conhecido o emprego da “terra diatomácea” em quase todos os tipos de filtragem industrial, inclusive processamento de óleos, bebidas (alcoólicas ou não), solventes, etc. Terra diatomácea ou diatomita é uma forma hidratada de sílica composta de cascos ou conchas silicosas de diatomáceas, que são plantas aquáticas unicelulares de dimensões microscópicas. A diatomácea utilizada é proveniente de jazidas brasileiras, sendo facilmente encontrada no mercado nacional.

Com a grande expansão da construção civil nas últimas décadas e o apelo constante da responsabilidade ambiental das empresas em relação à destinação de resíduos sólidos e a preocupação com o impacto ambiental, a construção civil se molda nesse conjunto em busca de inovações tecnológicas e ambientais. Sendo o tijolo o material mais popular na construção civil, utilizado como vedação e até mesmo em alvenaria industrial na grande maioria das obras, está evoluindo de maneira a se adaptar as novas concepções de arquitetura. Uma das alternativas para esta substituição está na aplicação do eco tijolo, também conhecida como tijolo modular, de encaixe ou de solo-cimento. Este material é constituído basicamente de solo (que pode ser substituído parcialmente pelo reaproveitamento de matérias oriundos da própria construção civil), cimento e água. Este material se torna ecologicamente correto devido a sua característica de não sofrer o processo de queima durante a sua fabricação, evitando-se assim a emissão de gases poluentes na atmosfera, desmatamento e consumo de energia. O processo de fabricação também é simplificado, bastando apenas misturar os ingredientes da sua composição que podem ser moídos ou simplesmente adicionados (após peneiramento para atingirem uma granulometria específica) em uma betoneira e seguir será prensado. Como o eco tijolo usa cimento como aglomerante, ele não precisa ser queimado para endurecer.

> Para prover as necessidades do mundo moderno é imprescindível um aumento de produção que contribui para uma maior quantidade de resíduo, que nem sempre têm um destino ecologicamente adequado. O reaproveitamento dos resíduos cerâmicos vem a ser bastante oportuno, do ponto de vista ambiental, por se tratar um material que ao ser descartado de

> forma inadequada na natureza, provoca grandes impactos ao meio ambiente, sabendo-se que a cada três anos um hectare é poluído por eles. Portanto, a recuperação e reciclagem de resíduos têm um grande valor não só econômico como também ambiental. Para que um produto seja aceito no mercado, sem restrições é necessário conhecer muito bem o seu comportamento físico, químico e potencial de utilização. No caso de resíduo é preciso avaliar também a possibilidade de impactos que possam ser causados por ocasião do seu beneficiamento (PERA, 1996).

A terra Diatomácea usada na clarificação, é retirada, passa por um processo de secagem e posteriormente destinada para aterros como material inerte, os resíduos provenientes desta filtragem ficam em torno de 0,1 a 0,3 kg/hl cerveja, dependendo da claridade inicial, levedo utilizado e tipo de cerveja.

Com base nestes dados fica evidente o potencial de reutilização deste resíduo na construção civil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade da utilização de resíduo de areia diatomácea resultante da filtração da cerveja na confecção de eco tijolos ou tijolos ecológicos. O estudo foi realizado utilizando-se dosagens diferentes dos materiais constituintes de modo a se obter o melhor desempenho com a utilização da maior quantidade possível de resíduo em sua composição, todos os resultados obtidos seguem as normas da ABNT.

1.1.2 Objetivo específico

- Caracterizar os materiais constituintes do eco tijolo (solo, cimento e água);
- Preparar o resíduo de areia diatomácea para sua utilização na composição do solo cimento;
- Caracterizar tecnologicamente através das propriedades mecânicas os tijolos solo – resíduo de areia diatomácea;

- Comparar os resultados obtidos com os tijolos solo – resíduo de areia, com um tijolo padrão confeccionado apenas com o solo utilizado de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.
- Definir uma amostra de solo, caracterizando-a física e mecanicamente através de ensaios de laboratório;
- Determinar as características do solo visando a otimização e melhoria da resistência do produto final.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Mercado cervejeiro no Brasil

O mercado cervejeiro no Brasil impulsionado pelo bom desempenho e pelo alto consumo passou a atrair as atenções de grandes indústrias internacionais que, em uma primeira instância se interessavam apenas em ingressar no mercado nacional, isto foi concretizado pelas inúmeras associações com empresas nacionais, essas parcerias se tornaram comum no mercado cervejeiro e responsável pela abertura do mercado nacional para as marcas globais, algumas dessas parcerias: Brahma/Miller, Antarctica/Anheuser-Busch, Kaiser/Heineken e Skol/Carlsberg.

A segunda parte da história desse mercado, os conglomerados industriais começam a apresentar uma série de fusões e aquisições que resulta no elevado nível de concentração de mercado.

A polêmica fusão da Antarctica com a Brahma, em 1999, e a resultante criação da AmBev, configura-se como o ato de concentração de maior relevância na história da indústria cervejeira do país.

O cenário atual da indústria cervejeira brasileira descrito no **gráfico 1**, é fruto dessa fase, onde a empresa líder de mercado detém quase 70% do mercado interno,tornando o mercado altamente concentrado em uma única empresa.

O restante do mercado é dividido por um grupo de três grandes cervejarias – que disputam cada décimo de ponto percentual de mercado – e, ainda, por um grupo de pequenas cervejarias regionais e microcervejarias que completam uma reduzida fatia de mercado.

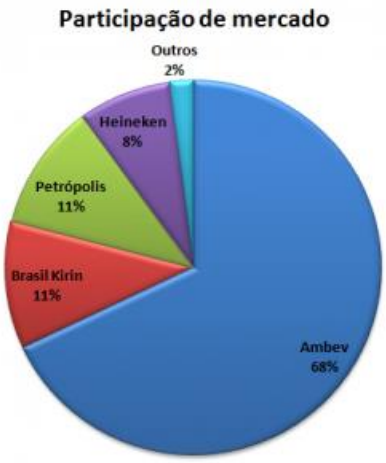


Gráfico 1: Participação do mercado brasileiro

Fonte: CERVBRASIL – FGV- IBGE

O Brasil produziu 13,5 bilhões de litros de cerveja em 2013 e ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção, atrás apenas de China e Estados Unidos, segundo dados do Barth Haas Group. Com relação ao consumo per capita, no entanto, o mercado brasileiro ainda tem um enorme potencial de crescimento. O país está na 24ª posição mundial, com consumo de 68 litros por pessoa, em 2012.

Um levantamento inédito feito pela Cervbrasil (Associação Brasileira da Indústria da Cerveja) com informações da Fundação Getúlio Vargas (FGV) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostra que a indústria cervejeira pode ser transformada em números significativos para a economia nacional como mostra o **gráfico 2**, sendo responsável pelas seguintes condições:

1. O número de brasileiros que trabalham na cadeia produtiva da cerveja é o equivalente a empregar quase toda a população do Mato Grosso do Sul.

2. A cadeia produtiva da bebida paga R$ 28 bilhões em salários por ano em todo o país. É um valor maior que o destinado a Bolsa Família em 2013, que foi de R$ 20,6 bilhões.

3. Só na região Sudeste, mais de 1 milhão de pessoas estão empregadas em função da indústria cervejeira, quase a população da cidade de São Luís, no Maranhão.

4. O índice de emprego em cervejarias tem aumentado acima da média geral da indústria. Dados do Caged, de 2009 a 2014, revelam que o aumento médio de trabalhos em fábricas de malte, cerveja e chope foi de 5,4%, enquanto o índice geral melhorou 2,1%.

5. No Nordeste, as cervejarias representam 20% de toda a indústria de transformação da região. Nacionalmente, a representatividade é de 12%.

6. De acordo com a FGV, para cada emprego gerado em uma cervejaria, outros 50 são criados em toda a cadeia produtiva.

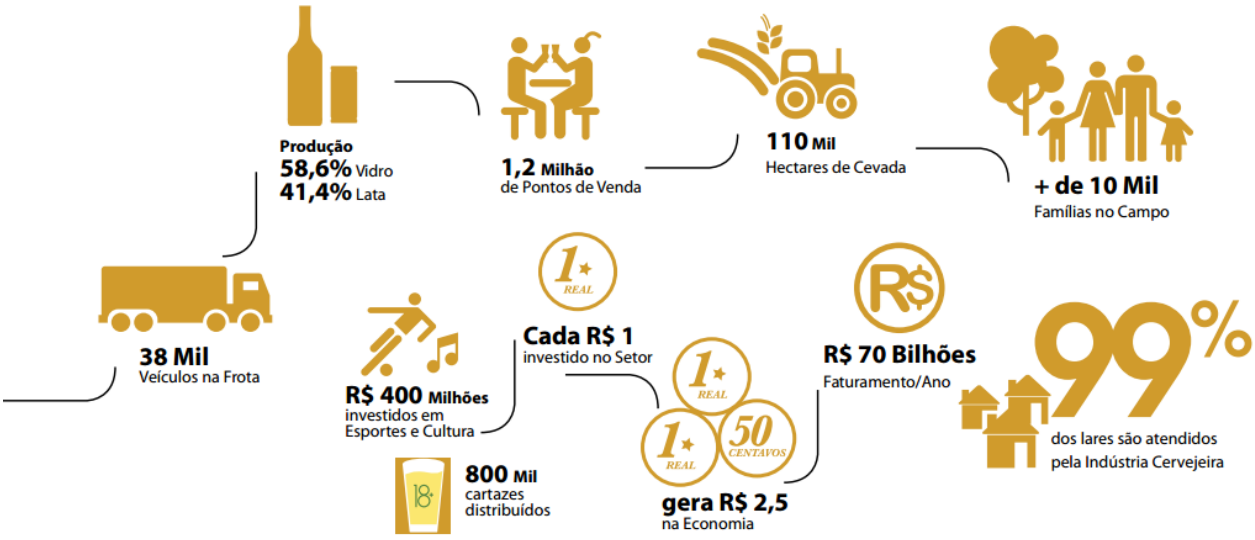


Gráfico 2: Importância do Mercado Cervejeiro
Fonte: Cerv Brasil – Anuário 2014

De acordo com os números globais apresentados no **gráfico 3**, a indústria de cervejeira da agricultura ao varejo estão diretamente conectados com o progresso e o desenvolvimento do país.

- O setor cervejeiro responde por 2% do PIB brasileiro;
- A cada ano, o setor emprega 2,7 milhão de pessoas;
- Recolhe mais de R$ 21 bilhões em tributos em todo país.

A imensa rede que envolve a cadeia produtiva da cerveja mobiliza:

- Cerca de 12 mil fornecedores de bens e serviços;
- Aproximadamente 8 milhões de profissionais das mais diversas áreas.

A indústria de bebidas frias (água, sucos e refrigerantes) – da qual o setor cervejeiro faz parte – abastece atualmente:

- Mais de 1,2 milhão de pontos de venda em todo o território nacional;
- Nestes estabelecimentos, a venda de cerveja e refrigerante representa entre 40% e 60% do faturamento;
- Ante o desafio da logística de entrega de produtos, o setor possui um índice de renovação de 4 mil a 5 mil veículos a cada ano. Nesta frota existem mais de 38 mil veículos;

- Atualmente, o setor cervejeiro possui 53 fábricas em todo país.

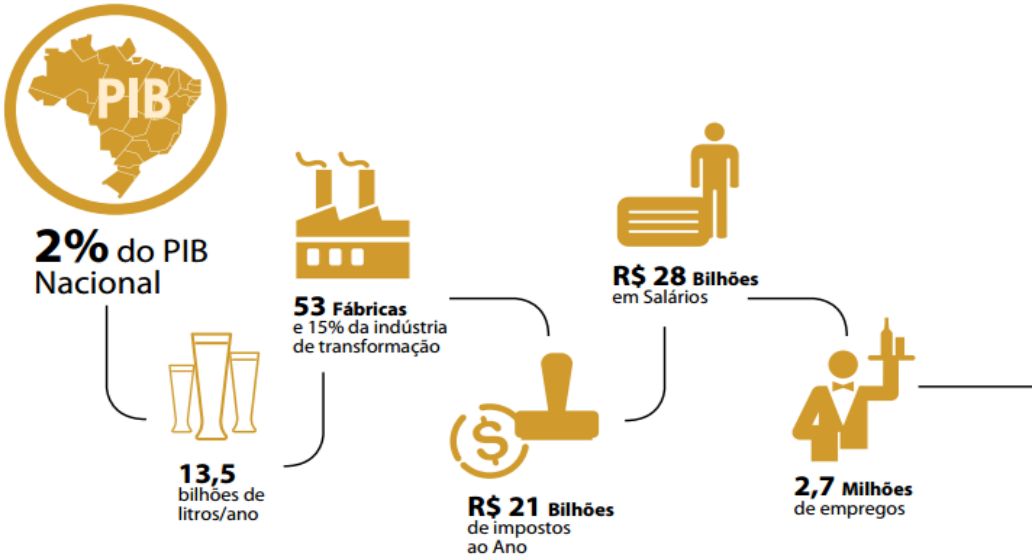


Gráfico 3: Mercado Cervejeiro no Brasil

Fonte: Cerv Brasil – Anuário 2014

A produção brasileira de cervejas cresce a uma taxa média anual de 5% cujos valores estão apresentados no **gráfico 4** resulta no crescimento médio estimado do PIB no período foi 3,6% a.a. nos últimos dez anos, o que torna o mercado cervejeiro um dos mais importantes meios de crescimento da economia nacional.

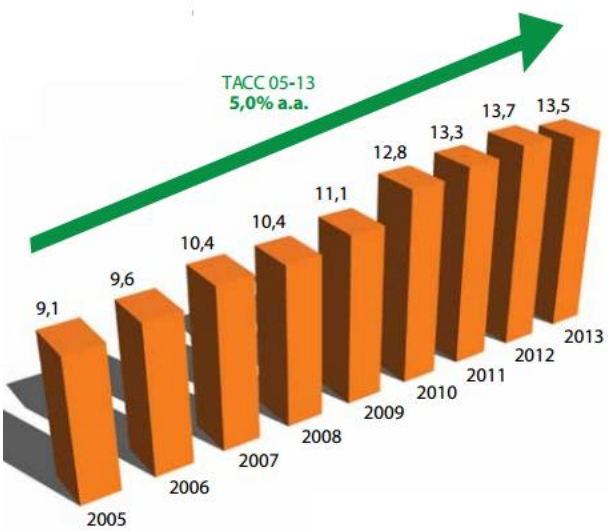


Gráfico 4: TACC – Taxa Anual de Crescimento Composto
Fonte: Cev Brasil – Sicobe - Anuário 2014

2.1.1 Cervejarias regionais, micro cervejarias e cervejarias artesanais.

Existe uma confusão na denominação e definição quando o assunto é pequena cervejaria regional, micro cervejaria ou cervejaria artesanal.

O mercado nacional possui uma pequena lacuna que é destinada as micro cervejarias e as cervejarias artesanais que são pequenos empreendimentos, cuja produção é influenciada, sobretudo, pela busca incessante da qualidade superior e pela exploração da diversidade de sabores e de estilos das cervejas. Existem mais semelhanças do que diferenças entre estes dois grupos de empresas – se é que existem diferenças. Na verdade, a utilização do termo “artesanal” no Brasil é cercada das mais diversas interpretações. Aqui no país partiu-se da expressão “Craft Brewery” para caracterizar as “Cervejarias Artesanais”. Este conceito está embasado no princípio que, o termo “craft” é mais amplo e também pode se referir a algo feito de maneira simples e cuidadosa. Portanto, é mais comum e viável na estrutura de marketing referir-se a uma cerveja como “artesanal” do que uma cervejaria propriamente dita.

Em outras palavras, pode-se dizer que as micro cervejarias fabricam e oferecem no mercado “cervejas artesanais”, que são cervejas de qualidade superior. Desta forma, as micro cervejarias atuam em nichos ou segmentos específicos de mercado, e atendem consumidores que clamam por diferenciação de produtos. Este segmento tem sido chamado de “cervejas premium” ou “cervejas especiais”.

Por sua vez, as cervejarias regionais são pequenas indústrias, com escala de produção, e se igualam às grandes empresas em, praticamente, todos os sentidos, registrando como principal diferença apenas o volume de produção e no comportamento no mercado.

2.1.2 Processo de Filtração e Clarificação da Cerveja

Com o objetivo de remover impurezas que ainda não se decantaram, e proporcionar a limpidez final do produto, procede-se à uma etapa de filtração da cerveja após a maturação. Para realizar a filtração pode-se contar com diversos tipos de meio filtrante, sendo os mais comuns os filtros de velas verticais ou placas horizontais, além do uso de terra diatomácea utiliza-se também (denominada

kiesselguhr) como elemento auxiliar à filtração. Pode haver ainda uma etapa final, de filtração com filtro de 20 cartuchos, para polimento. Finalmente, são adicionados aditivos como agentes estabilizantes, corantes ou açúcar, para o acerto final do paladar do produto. O resíduo sólido gerado nesta etapa é a torta de filtração denominada trub fino, de alto conteúdo nitrogenado.

> Na etapa de fabricação da cerveja, após a maturação, mesmo estando escura e turva a cerveja está pronta para consumo, durante muito tempo foi consumida desta forma, sem ser filtrada.
> A filtração é o processo no qual realiza a separação do líquido de uma mistura sólido-líquido, contidos em uma suspensão, os quais geralmente são separados pela passagem do líquido por um meio filtrante contendo algum tipo de material poroso, esta filtração nas indústrias cervejeiras é realizada por filtro com pressão controlada, neste procedimento as partículas resultantes do processo de fabricação de cerveja como levedura, células e outras substancias causadoras da turbidez ficam retidas nos poros dos auxiliares filtrantes por filtração de absorção e tamisação. A filtração por se tratar da última etapa do processo produtivo, envolve um sistema complexo e de controle rígido, para se obter um produto de qualidade dentro do padrão desejado (Cancellara, 2004)

No processo produtivo da cerveja uma grande quantidade de resíduos é gerada durante o processo, distribuída conforme a **Tabela1.**

Resíduo	Quantidade de Rejeito	Composição
Bagaço de malte	20 Kg/hl de cerveja	80% água,ou 125 -130 Kg/100kg de malte, base seca
Levedura adicional	3 litros/hl de cerveja	10 -15 % massa seca
Terra diatomácea	1,7 Kg/hl de cerveja	Trub: 0,2 a 0,4% do mosto, 15 – 20% massa seca
Cinzas	0,6 litros /hl de cerveja	----
Poeira de malte e gritz	0,25 Kg/hl de cerveja	---
Outros (carvão, cacos de vidro, etc...)	180 t/mês	---

Tabela 1: Principais resíduos sólidos gerados na indústria cervejeira

Fonte: Cancellara

2.2 - Sustentabilidade

Sustentabilidade é uma proposta de ação que enaltece o processo de globalização e desenvolvimento econômico atual, ainda visualiza o aumento da riqueza, prosperidade e principalmente a qualidade de vida para a sociedade.

> A noção de sustentabilidade incorpora uma clara dimensão social e implica atender também as necessidades dos mais pobres de hoje, outra dimensão ambiental abrangente, uma vez que busca garantir que a satisfação das necessidades de hoje não podem comprometer o meio ambiente e criar dificuldades para as gerações futuras. Nesse sentido, a ideia de desenvolvimento sustentável carrega um forte conteúdo ambiental e um apelo claro à preservação e à recuperação dos ecossistemas e dos recursos naturais (BUAINAIN, 2006, p. 47).

O desenvolvimento da sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável foi criado a partir dos países ricos com o intuito retórico de conciliação do desenvolvimento tecnológico com a preservação ambiental, baseando-se principalmente no uso racional dos recursos e principalmente na preservação das reservas atuais.

Porém a necessidade de preservação do meio ecologicamente correto e equilibrado com o uso comum da sociedade e a definição do modo como devem ser direcionados os recursos ambientais, (uso, não uso, quem usa, como usa, para que usa, etc.) estão diretamente ligado.

> A caracterização do consumidor verde: busca pela qualidade com impactos ambientais mínimos; preferência por produtos e ações que demandem menos quantidade de recursos naturais e que sejam menos nocivos ao meio ambiente; opção por artigos recicláveis, biodegradáveis e reutilizáveis; prestígio a empresas responsáveis socialmente e comprometidas com o meio ambiente; recusa a consumir produtos, utilizar serviços e apoiar ações de depreciem espécies em extinção; proatividade em relação às certificações ambientais; disposição em reduzir conforto, ganho econômico e conveniência em benefício de um consumo sustentável. (Giacomini Filho 2004, p. 70)

Sustentabilidade está diretamente ligada às atividades do crescimento econômico, que protejam e não esgotem os recursos ambientais, dos quais esse mesmo crescimento é totalmente dependente no presente e no futuro de suas atividades, para que isso se torne viável a sociedade vem desenvolvendo novas

técnicas e sistemas para a utilização e geração de novos recursos. Atualmente uma nova consciência vem se desenvolvendo para que se unam o desenvolvimento industrial com uma convivência harmônica entre tecnologia e meio ambiente. Para isso temos que:

- Poluir menos;
- Desenvolver novas tecnologias menos poluentes;
- Conservar e preservar os solos;
- Reciclar cada vez mais;
- Recuperar os recursos naturais degradados;
- Utilizar fontes de energias renováveis;
- Mudar hábitos e conceitos;

> Com essa expressiva importância, torna-se necessário aos agentes inserirem-se nesse mercado, atendendo às demandas globais, visando manter sua competitividade. Do ponto de vista da concorrência, competitividade pode ser definida como a capacidade de sobreviver e crescer em mercados correntes ou em novos mercados (FARINA, 1999).

No mundo tecnológico o conforto é fator primordial, mas nem sempre este conforto é sinônimo de qualidade de vida, pois este conforto é gerado pela degradação dos recursos e responsáveis pelo acelerado ritmo de degradação, não se enquadrando no conceito de sustentabilidade.

O crescimento nas grandes áreas urbanas exerce forte influência sobre o meio ambiente em geral e na degradação dos recursos. Temos que incorporar a mentalidade sustentável ao nosso cotidiano e em nossas ações, reconhecendo nossos limites atendendo nossas necessidades presentes sem comprometimento das reservas futuras das novas gerações.

> A primeira dimensão é a sustentabilidade social, que deve ser entendida como a construção de um processo de desenvolvimento baseado em outro tipo de crescimento e orientado por uma outra visão do que seja uma sociedade justa. Segundo Sachs, o objetivo principal é construir a civilização do “ser”, onde exista maior igualdade na distribuição do “ter” e da renda, para melhorar os direitos e as condições de amplas massas de população e diminuir a imensa distância entre os padrões de vida de abastados e não abastados (ARRUDA, 2008).

A conciliação entre: eficiência tecnológica, preservação ambiental e justiça social determinarão uma nova dimensão ética e política que fará com que o desenvolvimento sustentável sirva como processo de mudança social e a democratização ao acesso aos recursos naturais, em consequência disso haverá uma distribuição mais justa dos custos e dos benefícios do desenvolvimento sustentável.

2.2.1 Construções sustentáveis

As construções sustentáveis são denominadas a partir de um conjunto de práticas adotadas no planejamento de uma obra, que engloba os projetos, a execução e a conclusão do empreendimento, com o objetivo de minimizar os impactos resultantes do projeto, visando principalmente o conforto térmico, acústico, a redução do consumo de energia e principalmente que melhore a qualidade de vida de seus usuários.

Nesses projetos a importância dos materiais utilizados é fundamental para que os resultados finais sejam alcançados e que permitam uma maior eficiência em suas aplicações.

> A inovação assume varias formas. Existe a inovação que resulta em laser ou em comunicação via satélite ou na cura de uma doença terrível. Essas não são apenas novas formas de fazer as coisas, mas coisas inteiramente novas, desenvolvimentos que ocorrem uma vez na vida derivados de um grande investimento de tempo, dinheiro e intelecto humano. Depois, há outro tipo de inovação mais simples, embora igualmente importante. São os avanços que utilizam a tecnologia existente, observando-a sob novo ponto de vista para realizar uma tarefa de modo mais barato, melhor ou mais rápido, ou os três. (PRUSHAN, 1999, p. 125).

Esse tipo de construção é considerado um sistema construtivo que promove intervenções conscientes e planejadas no entorno, com o objetivo de atender as necessidades de edificação e do homem, mas sempre visando à preservação do meio ambiente e dos recursos naturais e se ajustando às condições naturais do

local, empregando de forma sustentável os recursos, buscando não esgotá-los, para assim, garantir qualidade de vida para as gerações atuais e futuras.

2.3 Tijolos de solo cimento

Um dos grandes desafios da construção civil e da sociedade consiste na solução do problema habitacional do Brasil. Uma das soluções que podem minimizar esse problema está na utilização do tijolo de solo cimento conforme **figura 1**. A grande vantagem deste material:

- Sua fabricação, uma vez que o consumo de energia aplicada na sua fabricação é baixo;
- Não utiliza a queima, como nos tijolos convencionais;
- Dispensa o uso de pilares e vigas em construções de pequenas áreas (até 50 m²);
- Dispensa o uso de formas;
- O acabamento interno poderá ser aparente;
- Economia no custo da mão de obra;
- Rapidez e eficiência no assentamento;
- Limpeza e redução de resíduos pós-obra;

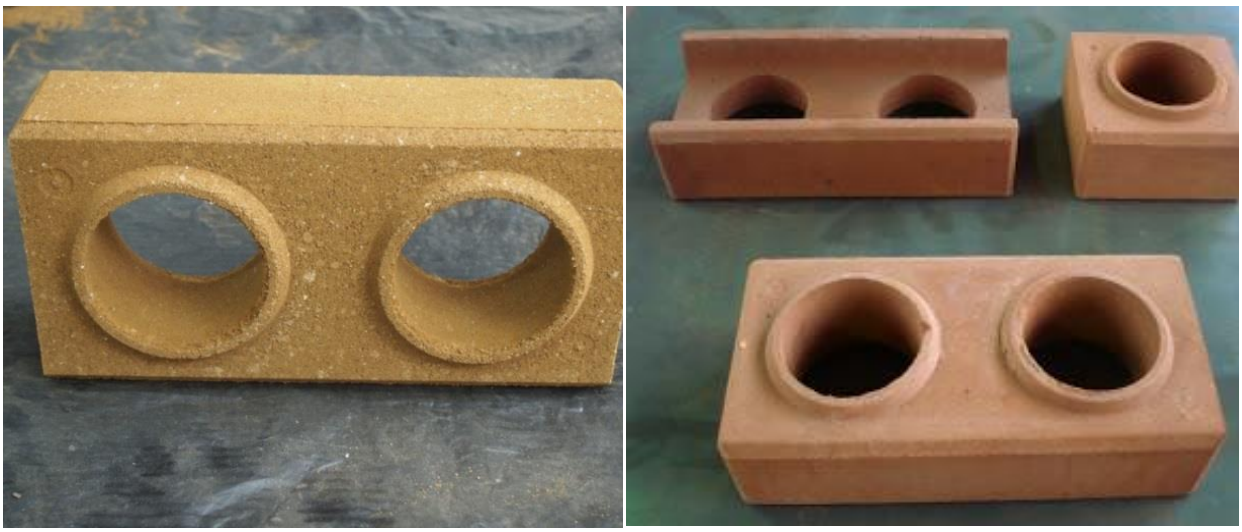


Figura 1: Tijolo de solo cimento
Fonte: Autor

Os solos mais adequados para este tipo de tijolo ecológico são os arenosos, ou seja, aqueles que na sua constituição apresentarem uma quantidade mínima de 60 % em sua composição, sendo que o percentual máximo de areia não poderá ultrapassar os 80 %, pois são necessários para a utilização do solo que este seja um solo completo com areia, silte e argilas, para que o solo utilizado seja o ideal.

- Teor de areia: superior a 60%;
- Teor de silte: 10 a 20%;
- Teor de argila: 20 a 30%;
- LL (Limite de Liquidez) inferior ou igual a 45%;
- IP (Índice de Plasticidade) inferior ou igual a 20%.

Assim, para verificar se um determinado solo atende a esses requisitos, é necessária a realização em laboratório dos ensaios de granulometria por peneiramento e sedimentação e dos limites de plasticidade e de liquidez.

Cabe lembrar que, no caso de solos argilosos, é sempre possível corrigir a granulometria e a plasticidade por meio de adição de areia.

Uma vez que o solo não se enquadre nessas condições ou que a jazida se encontre distante do ponto de confecção do tijolo, poderá ser feita uma mistura granulométrica do solo com 70% de areia grossa e 30% de silte e argila, misturando-se uniformemente e depois se deve peneirar a mistura.

> Solos com teores altos de mica não devem ser empregados em solo-cimento porque não resistirão às expansões da argila durante os ciclos de secagem e molhagem. Os solos orgânicos e turfosos são inadequados e não devem ser empregados.
>
> Pode-se utilizar qualquer tipo de cimento para a produção de tijolos, sendo que os mais usados é o cimento Portland comum. A água a ser utilizada no preparo da mistura do solo com o cimento deve ser de preferência potável ou livre de material orgânico. (BARBOSA, 2003)

Uma vez definida a amostra de solo, elas devem ser encaminhadas para um laboratório de mecânica dos solos, para a caracterização quanto à composição do solo. Após esses ensaios é que se determina a relação que será aplicada na confecção dos tijolos.

> "Por demorarem a serem concluídos, os procedimentos de análise e dosagem feitos por laboratórios são um dos fatores que desestimulam o uso em construções" (FIQUEROLA, 2004).

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (1980), a dosagem do solo-cimento consiste em uma sequencia de ensaios seguidos de uma interpretação por meio de critérios estabelecidos na experiência. O resultado de um estudo de dosagem seria a fixação de três quesitos básicos, a saber: teor do cimento a ser utilizado, umidade a ser incorporada na mistura e massa específica desejada.

Desses valores, o teor do cimento é o objetivo maior de método de dosagem citado, visto que a umidade e a massa específica passam a ser critérios de controle da mistura, depois de fixados seus valores. Autores como Ceratti (1983) e Moura (2004), após realizarem vários ensaios com diversos tipos de solos, concordam que o aumento do teor de cimento resulta em aumento da resistência à compressão e, consequentemente, da durabilidade, independente do tipo de Solo. Porém, Moura (2004), ressalta que se o teor de cimento for muito elevado e as condições de cura forem inadequadas, é provável que ocorram fissuras no material, causadas pela retração por secagem.

2.3.1 Fabricação do tijolo solo-cimento

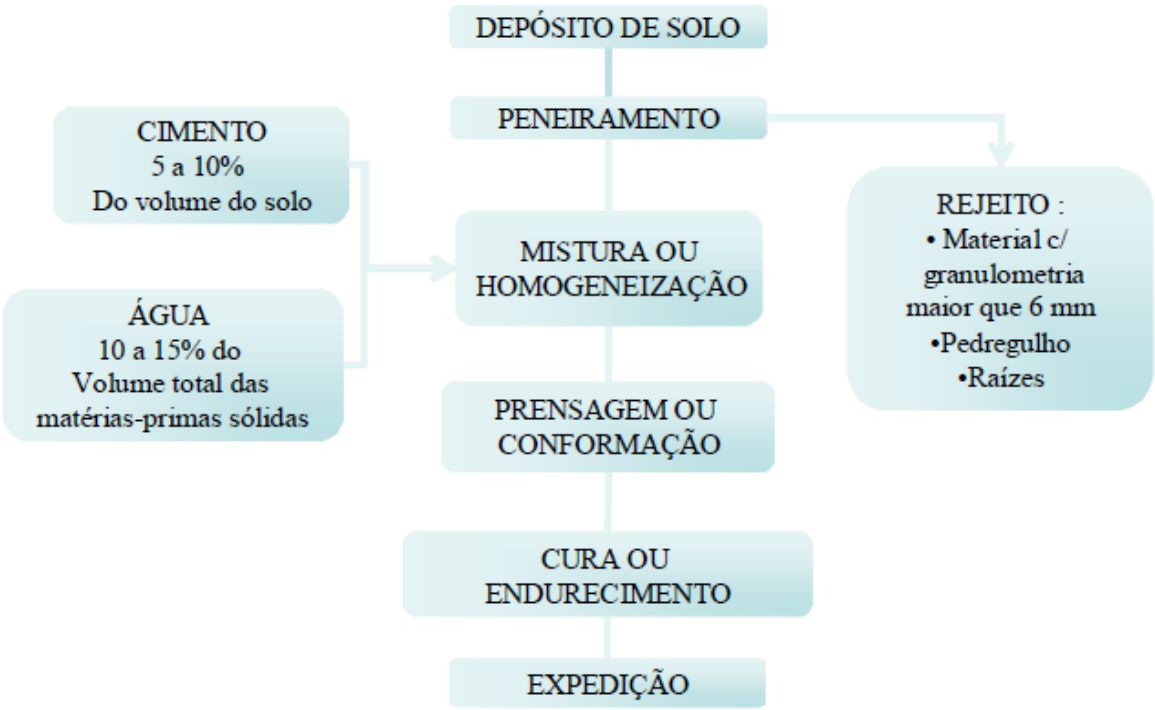
Na fabricação do tijolo de solo cimento não há queima do material, mas sim a utilização de uma prensa como mostra a **figura 2**, isso significa que não há necessidade de combustível para a queima e nem o lançamento de resíduos no ar. Enquanto que o processo tradicional o tijolo cerâmico deve ser queimado depois que ele for moldado, nas fábricas de tijolos ecológicos esse processo é substituído por um processo de cura, onde o tijolo fica protegido do sol e do vento durante oito dias.

O processo de cura dura aproximadamente 28 dias, neste período deve-se ter o cuidado de hidratar as amostras de forma a não faltar água na reação química dos materiais.

Figura 2: Prensa Hidraúlica

Fonte: Autor

A produção dos tijolos de solo-cimento varia de acordo com os objetivos de sua utilização (revestimentos, resistência, aparente, etc.) de acordo com processo a ser utilizado (manual, mecânico ou híbrido). Levando em consideração estes aspectos, podem-se relacionar as seguintes etapas, conforme **Fluxograma 1.**



Fluxograma1: Processo de fabricação de tijolos de solo-cimento
Fonte: GOMES, 1980

> O solo escolhido é selecionado, indo para o laboratório efetuar os ensaios necessários para sua caracterização após ele é triturado ou peneirado e eventualmente corrigido se necessário.
> Após o preparo do solo, a mistura é levada para o sistema de compactação nas prensas com pressão de até 6 toneladas e, para finalizar o processo, o tijolo passa para a fase de cura e secagem em ambiente próprio para sua cura durante os 8 dias iniciais.
> As características como forma, dimensões, resistência à compressão e a absorção de água de blocos e tijolos de solo cimento são definidas pela ABNT.
> As prensas utilizadas estão disponíveis no mercado e seus modelos são os mais variados possíveis para a fabricação do tijolo de solo cimento. Algumas prensas fabricam vários tipos de tijolos em uma única máquina, bastando para isso à troca do molde escolhido.
>
> A parte que sofre maior desgaste na máquina é a caixa matriz, onde o solo é prensado. Quando isso ocorre basta efetuar a manutenção desta caixa, ou seja, uma simples troca da caixa e a máquina esta novamente pronta para uso. (SUPERTOR-1984)

O avanço tecnológico destas prensas de fabricação de tijolos tem contribuído para a racionalização das construções, possibilitando a elaboração de projetos mais sofisticados, permitindo a sua utilização em várias soluções arquitetônicas. A utilização das variáveis dos tijolos de solo cimento como canaletas, placas, etc. vem crescendo entre as soluções sustentáveis aplicadas pelos profissionais da construção civil.

2.3.2 Normatização.

O tijolo de solo cimento é normatizado pela ABNT, as seguintes normas serviram como referências para a elaboração do tijolo e sua respectiva caracterização, sendo os valores mínimos dispostos na **Tabela 2**.

- NBR 8491 – Tijolo Maciço de solo cimento – Especificação
- NBR 8492 – Tijolo Maciço de solo cimento – Determinação da resistência a compressão e absorção de água. Métodos de ensaios.

- NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço de solo cimento e bloco vazado de solo cimento com a utilização de prensa hidráulica. Procedimento
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural. Especificação
- NBR 10835 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural – Forma e Dimensões.
- NBR 10836 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e absorção de água. Métodos de ensaios.

CARACTERÍSTICA	EXIGÊNCIA NBR 8491
Resistência à compressão	valor médio ≥ 2,0 Mpa
	valor individual ≥ 1,7 Mpa
Absorção de água	Valor médio ≤ 20%
	valor individual ≤ 22%

Tabela 2: Limites de resistência e Absorção de água.

Fonte: ABNT

2.3.3 Teor de Umidade – Umidade de Moldagem

Para uma eficiente mistura com o cimento a umidade do solo deve ser ideal para que se obtenha a maior densificação na hora da compactação, uma vez que a capacidade de prensagem está diretamente relacionada com a umidade presente na mistura. Existe uma quantidade ótima de umidade na qual resulta em um maior nível de prensagem. A partir de determinada quantidade de água adicionada, a compactação pode ser prejudicada, diminuindo a resistência dos tijolos.

> A quantidade e a proporção de água no preparo e mistura dos compósitos para a produção de tijolos de solo cimento influencia na trabalhabilidade, homogeneidade, coesão, absorção de água, porosidade, durabilidade e principalmente, no desempenho físico-mecânico final do produto.
>
> Os ensaios de compactação visam à obtenção dos valores de umidade ótima e de massa específica aparente seca máxima. A umidade ótima é um parâmetro muito importante nos trabalhos realizados com solos, pois

> propicia melhores condições de trabalhabilidade e máxima compactação do material, proporcionando maiores valores de densidade, resistência e durabilidade. O teor de umidade é tão significativo quanto à porcentagem de cimento, pois exerce forte influência nas características de resistência e absorção de água (SOUZA 2008).

2.3.4 Prensagem

A compactação do solo é usada para aumentar mecanicamente a densidade do solo através da união das partículas com um estabilizante. Na área da construção civil, está parte é fundamental no processo de fabricação e montagem das construções.

> O tipo de prensa é fator primordial, pois, quanto maior a compactação imposta ao solo, melhor será o desempenho final do tijolo. No mercado encontram-se diversos tipos de prensas manuais e hidráulicas. Estas últimas imprimem ao solo pressões muito maiores que as manuais, resultando em produtos mais resistentes (BARBOSA 2003).

2.3.5 Cura

Aproximadamente 6 horas depois de prensados, os tijolos devem ser molhados periodicamente para que ocorra a reação química das partículas do solo com o cimento, que necessita de umidade durante um período de sete dias, a fim de obter a resistência máxima do conjunto. Os tijolos de solo cimento quando estabilizados também precisam manter a umidade para evitar a perda de umidade para o meio externo. Se ocorrer este tipo de perda, não haverá tempo para a reação do cimento com o solo e a resistência do conjunto sofrerá uma perda. Um método eficaz consiste em cobrir os tijolos com lonas plásticas tão logo eles sejam fabricados e após a molhagem, assim impede-se a perda de água por evaporação, garantindo assim a cura correta dos tijolos.

Conhecendo os diversos tipos de curas utilizados para a confecção dos tijolos, o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - CEPED (1999) realizou alguns ensaios, relacionando a resistência à compressão simples em corpos de prova submetidos a algumas condições de cura. Tais estudos comprovam ainda a redução na ordem de 40 % quando não se usa qualquer processo que evite a secagem

rápida dos tijolos. Esta secagem rápida ocasiona a formação de trincas e, no caso da não recorrência de um processo de molhagem, pode ocasionar o esfarelamento superficial, tornando o tijolo de solo cimento frágil às intempéries. Se as condições de cura forem inadequadas podem ocorrer ainda à formação de trincas transversais de retração na camada cimentada.

2.4 Sistema construtivo

No canteiro, as diferenças começam a aparecer e a se diferenciar logo no recebimento e na execução do material escolhido para a obra.

São muitas as diferenças entre o sistema construtivo tradicional e o modular, dentre elas pode-se destacar o que está descrito a seguir.

> O tijolo ecológico possui uma pequena folga na junção, que serve para prevenir a dilatação. Como toda matéria sofre ações da temperatura, se expandindo no calor, e se retraindo no frio, é importante preservar uma distância de dois milímetros entre um módulo e outro (CONSTRUVAN, 2008).

Com um rendimento de 48 unidades/m² de parede construída, os furos são responsáveis pela diminuição do peso da estrutura, servindo como elementos termo acústicos e ainda podem ser usados como condutores das instalações elétricas e hidráulicas, além de possibilitar a sua utilização como elemento estrutural e de sustentação apresentados na **figura 3**, permitindo assim uma redução no custo da obra pela não utilização de formas para estas estruturas.

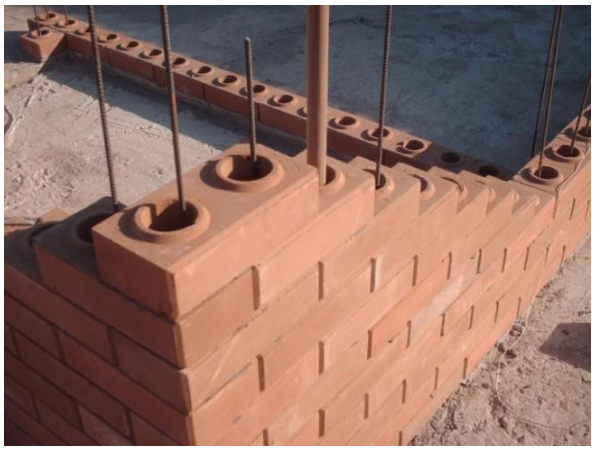


Figura 3: Sistema Construtivo
Fonte: Autor

Os tijolos de solo-cimento podem ser empregados de duas maneiras: como alvenaria grauteada autoportante e como vedação, associados a uma estrutura de concreto.

As construções executadas de tijolos solo-cimento podem ser 30% a 40% mais baratas que construções convencionais, principalmente pela redução de desperdício de material e custos de transporte, pois os tijolos podem ser feitos no canteiro de obra. Existem projetos experimentais que chegam a 50% de economia, mas a média fica entre 30 e 40%. O ganho também advém da economia de argamassa na sua aplicação ilustrada na **figura 4**, com redução de material de acabamento e da quebra de paredes para instalar as janelas e portas. A argamassa, além de ter uso reduzido, é composta de terra, cimento e cola branca, o que também barateia sua produção.

Figura 4: Argamassa de assentamento
Fonte: recriarcomvoce

A redução de custo acontece no âmbito global da obra e não no custo unitário do tijolo, que se comparado unitariamente ao tijolo convencional possui um custo mais elevado.

Um dos entraves para a sua execução, mesmo sendo de simples assentamento torna-se necessário um conhecimento especializado de sua estrutura.

Apesar dos pontos positivos destacados, no Brasil o interesse pelo solo-cimento na construção de habitações (como componente de alvenaria) foi desaparecendo na proporção que outros materiais, na maioria dos casos mais industrializados, surgiam no mercado.

Atualmente com a retomada da construção civil e o apelo sustentável das construções o retorno dessa técnica tem avançado de forma gradativa e consciente, uma vez que a visão do custeio de uma obra sai do parâmetro de custo por etapa, para ter uma concepção de custo global de investimento.

2.5 O solo

Na forma mais simples de conhecimento os solos recebem o nome de terra crua ou simplesmente terra, esta definição errônea e equivocada deve ser corrigida, pois, o termo técnico correto para esta matéria-prima é solo.

Dependendo de sua origem o solo pode ou não apresentar um percentual de material orgânico em sua composição; porém para sua utilização na confecção de solo cimento deve-se dar preferência aos solos que não possuam material orgânico em sua composição, pois este tipo de material interfere na resistência final do produto, pois interferem na reação de pega do cimento inibindo-a.

> Se tomarmos exclusivamente a finalidade a ser dada neste estudo, o solo pode ser definido como um material não consolidado da camada superficial da terra, facilmente desagregável, contendo minerais diversos sob as formas de areia (pequenas partículas bem resistentes, duras); de silte (partículas mais finas que a areia, geralmente sedimentadas sob a forma de camadas pulverizadas); e de argilas (silicatos hidratados de alumínio, e que constitui o barro) (CEBRACE, 1981).

2.5.1 A escolha do solo

Na natureza existe uma grande diversidade de solos, porém não é qualquer tipo de solo que pode ser usado em construções com solo cimento. Por esta razão, é importante a utilização e a escolha correta quanto ao tipo e a granulometria existente no solo a ser utilizado.

Algumas características devem ser consideradas na escolha: tamanho entre os grãos e a facilidade de desagregamento. Os solos com percentuais altos de argila ou silte não são aconselháveis para este fim. Não devemos esquecer que a fração

de argila é um componente primordial na composição do solo devido às suas propriedades aglomerantes, a resistência inicial, a melhoria da trabalhabilidade. Porém esse material pode ocasionar fissuras, trincas ou rachaduras depois de seca, em consequência de sua alta retração, bem como sua redução de resistência.

Este percentual de argila e silte são responsáveis pela trabalhabilidade da mistura antes da prensagem e pela resistência mecânica do tijolo ao final do processo.

> Cuidados devem ser tomados principalmente evitando-se aqueles que contenham argilo-minerais do tipo montmorilonitas pois, são altamente expansivos não sendo convenientes para fabricação de tijolos, pois necessitam de muito cimento para a estabilização (BARBOSA e MATTONE, 2002).

A distribuição granulométrica da areia proporciona uma melhora na densidade de prensagem da mistura, que aumenta as propriedades mecânicas reduzindo ou não o teor de cimento da mistura.

A composição da areia é responsável pela estabilidade e resistência final, por ser um material inerte. Todavia, os solos arenosos precisam de um tempo maior de espera para atingir a resistência que suporte a compactação de outra camada de solo cimento.

Estudos desenvolvidos pelo CEPED (1999), na Bahia, mostraram que os solos mais indicados são aqueles que apresentam as seguintes especificações básicas: teor de areia entre 45 e 90%; teor de silte + argila entre 10 e 55%; teor de argila menor que 20% e limite de liquidez - menor que 45%. A escolha do solo pode ser realizada no próprio canteiro de obra por ensaios simples, práticos, baseados na consistência e plasticidade de amostras (CEBRACE, 1981).

2.5.2 Caracterização do solo

O estudo das propriedades de um determinado solo deve ser precedido dos ensaios de caracterização dos mesmos. Tais ensaios são padronizados por normas brasileiras e estrangeiras, sendo executados em laboratório.

Na maioria das vezes a escolha do solo a ser utilizado é baseada em dois aspectos: a consistência e a plasticidade das amostras.

A **Tabela 3** relaciona os principais ensaios geotécnicos de caracterização e de compressão simples com os ensaios de caracterização dos solos.

Ensaios de Caracterização do Solo		
Ensaios de Laboratório		**Ensaios Expeditos**
Granulometria	-	Ensaio do vidro
Limite de Liquidez	LL	Ensaio do bolo, ensaio da caixa
Limite de Plasticidade	LP	Ensaio do cordão, Ensaio da fita
Compactação	$\rho_{dmáx}$ e $\mathbf{w}_{ot}$	Determinação da umidade ótima (hand test e teste da bola de solo)
Compressão Simples	σ_r	Resistência seca
Teor de Umidade	W	-
Massa específica dos Grãos	ρ_s	-

Tabela 3: Ensaio de Caraterização do Solo

Fonte: Ceped -1999

Segundo a NBR 10832 (1989) o solo recomendado para a fabricação do tijolo de solo cimento são os que possuem as seguintes características:

- Passando na peneira ABNT 4,8 mm (Nº 4) 100%
- Passando na peneira ABNT 0,075 (Nº 200) .....10 a 50 %
- Limite de Liquidez..... ≤ 45 %
- Índice de Plasticidade ..... ≤ 20 %

2.6 Solo cimento

A busca por soluções ecologicamente corretas com baixo impacto ambiental estão sempre presentes em pesquisas acadêmicas, principalmente em se tratando da construção civil que é responsável direta pela qualidade de vida do ser humano.

Uma destas soluções é utilizada há décadas, e segundo ABIKO (1983) citado por GRANDE (2003), foi empregada pela primeira vez em 1915 nos Estados Unidos pelo Engenheiro Bert Reno, porém, só em 1935, a Portland Cement Association (PCA) iniciou pesquisas e estudos sobre esta tecnologia. No Brasil, PENHA (2007) esta técnica se difundiu após 1978 quando o CEPED (Centro de Pesquisa e

Desenvolvimento) e o IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo) comprovaram através de seus estudos que além do bom desempenho térmico e acústico, os tijolos de solo-cimento apresentam reduções nos custos na ordem de 20 a 40% em relação aos tijolos de barro ou cerâmica.

Rolim et al. (1999) destacam que a possibilidade de utilização de solo do próprio local constitui numa das grandes vantagens do solo-cimento, por questões econômicas, considerando que na mistura o solo é o componente que se encontra em maior proporção, devendo ser tal que permita o uso da menor quantidade de cimento possível.

Conforme Penha (2007), o investimento em tijolos de solo-cimento reduz os custos em relação a outros tijolos, portanto a fabricação deste material surge como alternativa para construção, principalmente, no meio rural e em pequenas comunidades.

Solo cimento é o material resultante obtido pela mistura de solo, cimento e água. É um processo físico-químico de estabilização resultantes da reorientação das partículas sólidas do solo com a substância cimentante nos contatos intergranulares, alterando a quantidade relativa de cada uma das fases que constituem o solo.

A primeira aplicação do solo cimento está relacionada à pavimentação de estradas, somente no final da década de 1940, através de estudos de alguns órgãos como Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT e o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento de Camaçari / Ba – CEPED , é que resolveu-se utilizar o solo cimento como material de construção civil.

É importante salientar que o uso de solo-cimento e de solo melhorado com cimento tem-se mostrado solução técnica e economicamente viável em diversas regiões do país, tendo se iniciado no Brasil em 1935, com a aceleração da construção de estradas na época (MACEDO, 2004).

Os estudos revelaram que a adição de cimento ao solo, fornece ao material as seguintes vantagens:

- Maior durabilidade;
- Menor permeabilidade;
- Absorção de água compatível;
- Não há variação de volume em relação à perda de umidade;

- Material resistente quando submerso em água;
- Aumento da resistência;

Para este caso, devemos considerar que outros fatores podem comprometer a qualidade da relação solo cimento.

- Tipo de solo;
- A compactação do solo.
- O teor de cimento (traço);
- Qualidade e método de mistura

Dos fatores apresentados o que é suma importância e que exerce maior influência nos resultados é o tipo de solo presente na mistura, se este não oferecer os requisitos mínimos, pouca coisa restará para efetuarmos as correções necessárias para obtenção de um produto de qualidade. O que se imagina é que se aumentarmos o teor de cimento aumentaríamos a resistência à compressão e, consequentemente, a durabilidade e a resistência do material independente do tipo de solo. Porém se esta relação for muito alta e as condições de cura não forem satisfatórias, é certo que apareçam fissuras no material, causadas pela retração do material. A compactação é responsável para que o material tenha um determinado peso específico, tal que, a resistência mecânica seja apropriada para determinada utilização.

A ABNT na norma NBR 12023 (1992) define o solo-cimento como um produto endurecido, resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem, executada conforme a NBR 12253 (1992).

> O solo constitui 85% em massa dos materiais componentes do solo cimento. Quase todos os tipos de solo podem ser utilizados para tal fim, embora os solos economicamente viáveis se restrinjam àqueles que necessitem de teores de cimento relativamente baixos para que a execução, em grande escala, seja bastante facilitada. (Lopes 2002)

O processo de cimentação é descrito:

> Quando o solo-cimento é compactado, ligações químicas se desenvolvem entre as superfícies adjacentes das partículas de cimento e entre as superfícies das partículas de cimento e solo. E solos siltosos muito finos e solos argilosos a hidratação do cimento cria fortes ligações entre o mineral e os agregados, formando uma estrutura do tipo “favo de mel”, em que as

> partículas do solo não podem mais deslizar umas sobre as outras. Não somente o cimento destrói a plasticidade do solo, como também aumenta a sua resistência e reduz a capacidade de retenção de água dos solos argilosos. Devido a essas propriedades do cimento, ele impede que o solo não só de dilatar e amolecer pela absorção de umidade, mas também dos efeitos de congelamento e descongelamento. (Limprasert 1995)

O solo-cimento ilustrado na **figura 5** é uma mistura íntima e bem proporcionada de solo com aglomerante hidráulico artificial denominado cimento Portland, de tal modo que haja uma estabilização do solo pelo cimento, melhorando as propriedades da mistura (Pires, 2004).

Figura 5: Solo cimento

Fonte: Autor

De acordo com França (2003) a estabilização tipo solo-cimento é o produto da mistura homogênea de solo, cimento e água, em proporções adequadas que, após compactação e cura úmida, resulta em um produto com características mínimas exigidas de resistência mecânica e durabilidade.

Quanto a relação da mistura dos componentes, existem uma série de variáveis que precisam ser levadas em consideração e serem bem esclarecidas. De acordo com ensaios realizados os resultados obtidos em laboratório tendem a ter resistências mais elevadas e melhor trabalhabilidade que as misturas similares efetuadas no canteiro de obra. De acordo com o controle de qualidade e das

condições ambientais do local onde se realiza a mistura, a resistência pode sofrer uma variação de até 50% de seu valor.

Alguns autores BAKER (1954) e GRIMER (1957) afirmam a existência de uma relação entre a homogeneização da mistura e a resistência mecânica do solo cimento, segundo seus estudos, quanto maior o tempo da mistura, menor seria a resistência do solo.

Segundo a ABCP o procedimento da mistura de solo cimento para a confecção de blocos, tijolos, painéis compostos de solo cimento, devem ser:

- Preparação do solo (destorroamento, pulverização e peneiramento);
- Preparação da mistura (homogeneização seca e homogeneização da umidade);
- Moldagem.

A compactação do solo cimento é essencial para a obtenção de resultados satisfatórios da mistura. Para que isso ocorra de forma correta é necessária à observação da influência do teor de umidade na compactação, uma vez que somente uma boa compactação pode garantir que o solo adquira um determinado peso específico que lhe proporcione uma resistência considerada.

Para que isso ocorra de forma correta é necessário determinarmos o valor da umidade ótima do solo, isso depende do tipo de solo que está sendo utilizado e da energia empregada na compactação, uma vez que a relação água/cimento, como é aplicada na dosagem do concreto, não se torna válida na estabilização do solo cimento, confirmando que a resistência á compressão do solo cimento é diretamente proporcional ao grau de compactação da mistura e isso independe do teor de cimento considerado na mistura.

A umidade necessária para a completa hidratação do cimento pode ser suprida pela umidade ótima de compactação. No entanto a homogeinização do solo se torna parte primordial do processo, uma vez que todo o cimento precisa entrar em contato com a umidade par que a reação química se realize completamente.

2.7 Tijolos de solo-cimento-resíduo de areia diatomácea

A preocupação ambiental da sociedade vem crescendo de forma consciente, uma vez que a construção civil no Brasil é altamente poluidora e grande

consumidora de recursos energéticos ela se torna responsável por impactos no ambiente. Porém o crescimento populacional e escassez de moradias em nosso país e o crescimento das construções de baixa renda e de financiamentos do Governo Federal aceleram consideravelmente a indústria da construção civil.

Com base neste cenário a busca por métodos alternativos de construção com a utilização de materiais rejeitados, resíduos em geral, ou a retomada de técnicas que poluam menos estão sendo amplamente utilizadas nas construções.

Uma das soluções que vão ao encontro deste novo paradigma é a utilização de solo cimento na fabricação das habitações, recurso este que são empregados em vários países. Porém, no Brasil a escolha inadequada das áreas de empréstimos de solos e a falta de fiscalização e controle tecnológico na fabricação dos tijolos afetam diretamente o avanço desta técnica.

A utilização desta matéria-prima apresenta algumas vantagens tais como disponibilidade, propriedades térmicas elevadas, bom controle de umidade do ambiente, geração mínima de poluição e baixo consumo energético no seu processo de fabricação.

Quanto à introdução de resíduos de areia diatomácea resultante da filtragem da cerveja podem existir também alguns pontos positivos que somados às vantagens apresentadas para os tijolos de solo cimento, não alterando as propriedades dos tijolos. Em vista do histórico apresentado, o objetivo principal deste estudo é a produção de tijolos intertravados utilizando como matéria-prima solo, cimento e de areia diatomácea resultante da filtragem da cerveja, abundantemente disponíveis, para a criação de um produto sustentável com resistência adequada.

3 MATERIAIS e MÉTODOS

Nesta parte da dissertação serão relacionados os materiais utilizados para a composição e confecção dos tijolos. Algumas considerações a respeito destes materiais serão descritos a seguir.

3.1 Solo

Para a composição dos solos estudados foram utilizados os seguintes materiais:

- aproximadamente 600 kg de solo proveniente da área da obra de retaludamento e corte, mostrados nas **figuras 6 e 7**, situada na Rodovia BR 393 - Rodovia Lúcio Meira – Km 278 – Bairro Boa Vista da Barra – Barra do Piraí – Rio de Janeiro.

Figura 6: Ponto de coleta do solo.
Fonte: Autor

Figura 7: Foto aérea do retaludamento de encosta
Fonte: Google Maps

3.2 Cimento Portland

> É um material pulverolento, constituído de silicatos e aluminatos complexos que, ao serem misturados com água, hidratem-se, resultando no endurecimento da massa, que pode então oferecer elevada resistência mecânica. (Tartuce ,1990).

O cimento Portland é composto de clínquer e de adições que distinguem os diversos tipos de cimentos conforme a **Tabela 4**, conferindo diferentes propriedades mecânicas e químicas. As adições também dependem da região onde está sendo fabricado o cimento.

Benefícios do uso do cimento na mistura solo cimento:

- Inalterabilidade quando imerso em água
- Resistência à compressão igual ou superior ao tijolo comum
- Redução da perda volumétrica, por absorção ou perda de umidade.

Segundo a ABCP e TARTUCE (1990), os cimento que podem ser utilizados devem atender as seguintes especificações:

- - Cimento Portland Comum (CP)–NBR 5732 –CP 25 –CP 32–CP 40 (Mpa)
- - Cimento Portland de Alto Forno – NBR 5735 – AF 25 – AF 32 (Mpa)
- - Cimento Portland Pozolânico (POZ) – NBR 5736–POZ 25–POZ 32 (Mpa)
- - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (ARI) – NBR 5733

Cimento Portland (ABNT)	Tipo	Clínquer + Gesso (%)	Escória siderúrgica (%)	Material Pozolânico (%)	Calcário (%)
CP I	Comum	100	-	-	-
CP I – S	Comum	95 – 99	1 – 5	1 – 5	1 – 5
CP II – E	Composto	56 – 94	6 – 34	-	0 - 10
CP II – Z	Composto	76 – 94	-	6 - 14	0 - 10
CP II – F	Composto	90 – 94	-	-	6 - 10
CP III	Alto forno	25 – 65	35 – 70	-	0 – 5
CP IV	Pozolânico	45 – 85	-	15 - 50	0 – 5
CP V - ARI	Alta Resis. Inicial	95 - 100	-	-	0 – 5

Tabela 4: Resumo da classificação do cimento
Fonte: Autor

A **figura 8** ilustra o cimento utilizado: cimento Portland Pozolânico – CP IV- 32 - RS – marca Holcim.

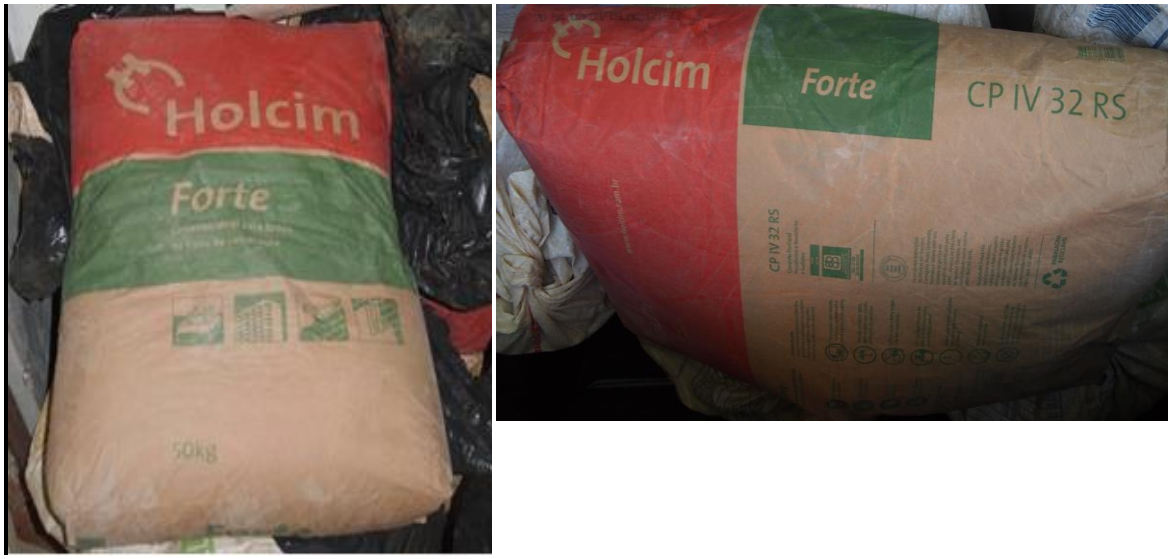


Figura 8: Cimento
Fonte: Autor

3.3 Água

Água das dependências do laboratório de Mecânica dos Solos.

3.4 Diatomita ou Terra diatomácea

A terra diatomácea é um mineral amplamente utilizado, pelas indústrias cervejeiras, no processo de filtração e clarificação da cerveja. Por atuar apenas como barreira física este material apresenta uma vida útil bastante reduzida, devido aos entupimentos dos seus poros durante o processo de filtração.

A terra diatomácea é um sedimento amorfo, de natureza silicosa, que pode ser originado a partir de frústulas ou carapaças de organismos unicelulares vegetais. Dentre estes organismos, destacam-se as algas microscópicas aquáticas, marinhas ou lacustres, encontradas nas camadas geológicas da crosta terrestre.

As diatomáceas são minerais leves, de baixa massa específica e coloração que pode variar entre cinza e branco, e seu tamanho está distribuído entre 4 e 500 µm. Dentre os constituintes que compõe a terra diatomácea destacam-se a sílica opalina e outros componentes que podem estar presentes, tais como o alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio, potássio, dentre outros em menor proporção. Minerais co-depositados, denominados de minerais secundários, também são encontrados, destacam-se os argilominerais, areia quartzosa, gipsita, mica, calcita, feldspato e carbonatos de cálcio e magnésio, além de impurezas como matéria orgânica.

A terra diatomácea por apresentar características específicas tem sido empregada em diferentes áreas, como na etapa de filtração e clarificação da cerveja, isolamento térmico e acústico, na absorção de metais pesados, bem como na produção de capacitor. Quando aplicada na etapa de filtração e clarificação da cerveja, a terra diatomácea apresenta vida útil muito curta, pois a mesma fica saturada com material orgânico, derivado do processo fermentação da cerveja, inviabilizando a sua utilização como material filtrante. Uma empresa cervejeira de grande porte pode gerar aproximadamente 30.000 Kg/mês deste resíduo (França,et al., 2008).

A “diatomita” ou terra “diatomácea” é uma forma hidratada de sílica, composto basicamente de cascas ou conchas silicosas de diatomácea que nada mais é do que um vegetal aquático unicelular de dimensões microscópicas. As jazidas existentes no mundo garantem o perfeito suprimento, a boa qualidade a custo baixo, garantindo a viabilidade para sua utilização na fabricação de cerveja e refrigerante, também é usado para filtragem de óleos, solventes e quaisquer líquidos em que se deseje grande pureza.

A terra diatomácea é um material leve e de baixa massa específica aparente, cuja coloração varia do branco ao cinza escuro. Este material é constituído por sílica opalina (58 % até 91%) e impurezas. A maioria das diatomáceas apresentam tamanho entre 4 e 500 µm. As propriedades permitem sua aplicação em filtragem, isolante térmico e acústico, cargas, absorventes, material dielétrico, etc.

A grande vantagem da diatomácea na filtração é sua composição com elementos unicelulares, que são responsáveis pela aglomeração das impurezas menores retendo o fluxo para tela interna.

A tecnologia diferenciada as terras de diatomáceas (diatomitas) são fundamentalmente carapaças remanescentes de algas diatomáceas. A diferença básica entre seu potencial de filtração comparada a outras, é a espessura granulométrica do meio filtrante. Nos leitos filtrantes de filtros rápidos de areia, por exemplo, os diâmetros das partículas variam entre 0,35 mm e 0,8 mm (350 a 800 micra). As partículas de terras de diatomáceas variam de 0,01 mm a 0,2mm (10 a 200 micra), variando eventualmente para mais ou menos. A espessura da camada filtrante dos filtros rápidos é de 0,6m, e dos lentos é de 1,0m. Nos de terras de diatomáceas vai de 1,5mm (1/16”) e 3,0 mm (1/8”). A sílica, que é o constituinte básico das partículas, é de resistência elevada, sendo as partículas rígidas e abrasivas. Após o processo o produto final é de coloração branda ou cinzenta e pesa de 140 a 200 Kg/m³. Quando molhado vai de 280 a 340 Kg/m³. Isso mostra o grande índice de vazios das terras de diatomáceas, o que lhe dá elevada permeabilidade.

3.4.1 Resíduo de Areia Diatomácea

A produção estimada para o ano de 2014 foi de 14,175 bilhões de litros de cerveja, o resíduo de areia diatomácea é produzido a uma quantidade na ordem de 1,7 Kg/hl de cerveja fabricada, neste caso o total de resíduo gerado gira em torno de 240 975 000 kg de resíduo úmido. A massa específica seca da areia diatomácea varia de 140 a 200 Kg/m³, enquanto sua massa específica úmida após sua utilização está no intervalo de 280 a 340 kg/m³. O resíduo de areia diatomácea é um excelente filtrante, pois suas características produzem um resultado eficiente e de baixo custo para a indústria cervejeira.

A absorção dos resíduos foi estimada em torno de 80% de sua massa, sendo que os resíduos foram retirados da amostra através da secagem primária e posterior secagem na estufa pelo período de 24h. O resíduo apresenta de acordo com a bibliografia uma massa específica aparente de 0,33 g/cm³ e uma massa específica real de 2,36 g/cm³.

O resíduo de areia diatomácea proveniente da filtração da cerveja encontra-se em estado pastoso, de coloração marrom claro, saturado de resíduos líquidos, conforme a **figura 9.**

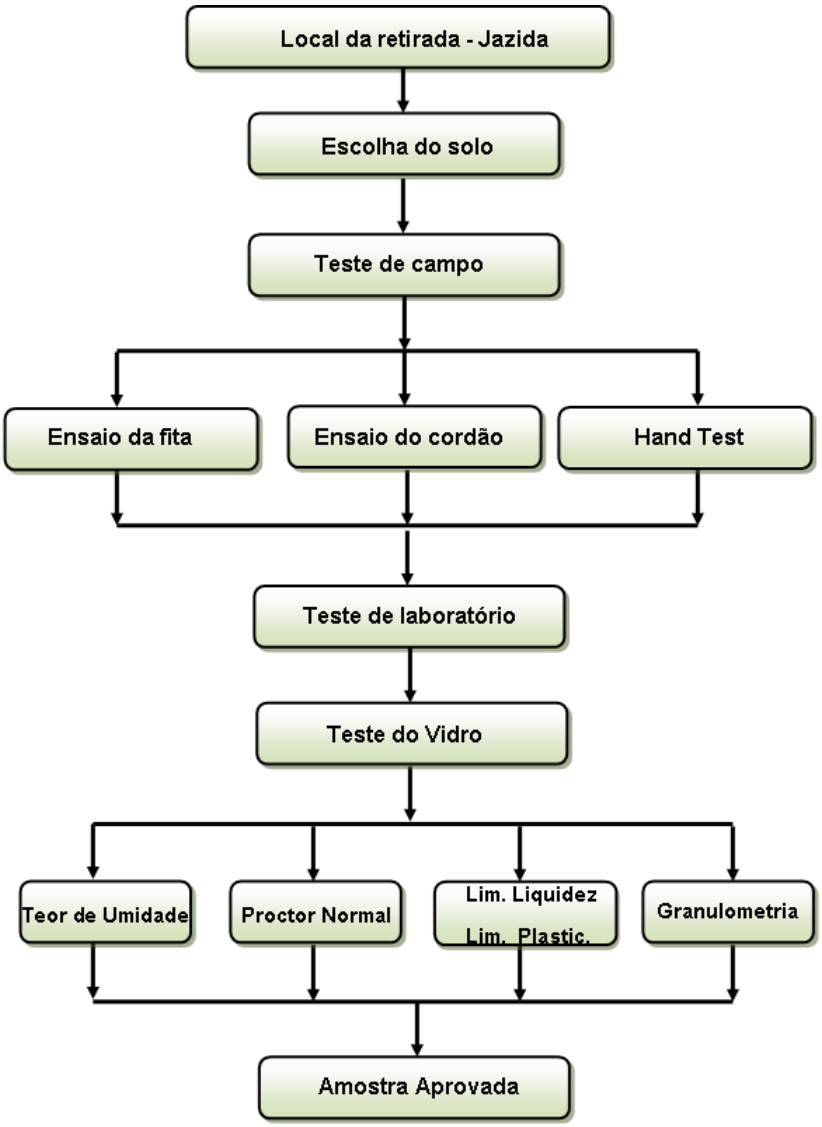
Figura 9: Resíduo de areia diatomácea
Fonte: Autor

MÉTODOS

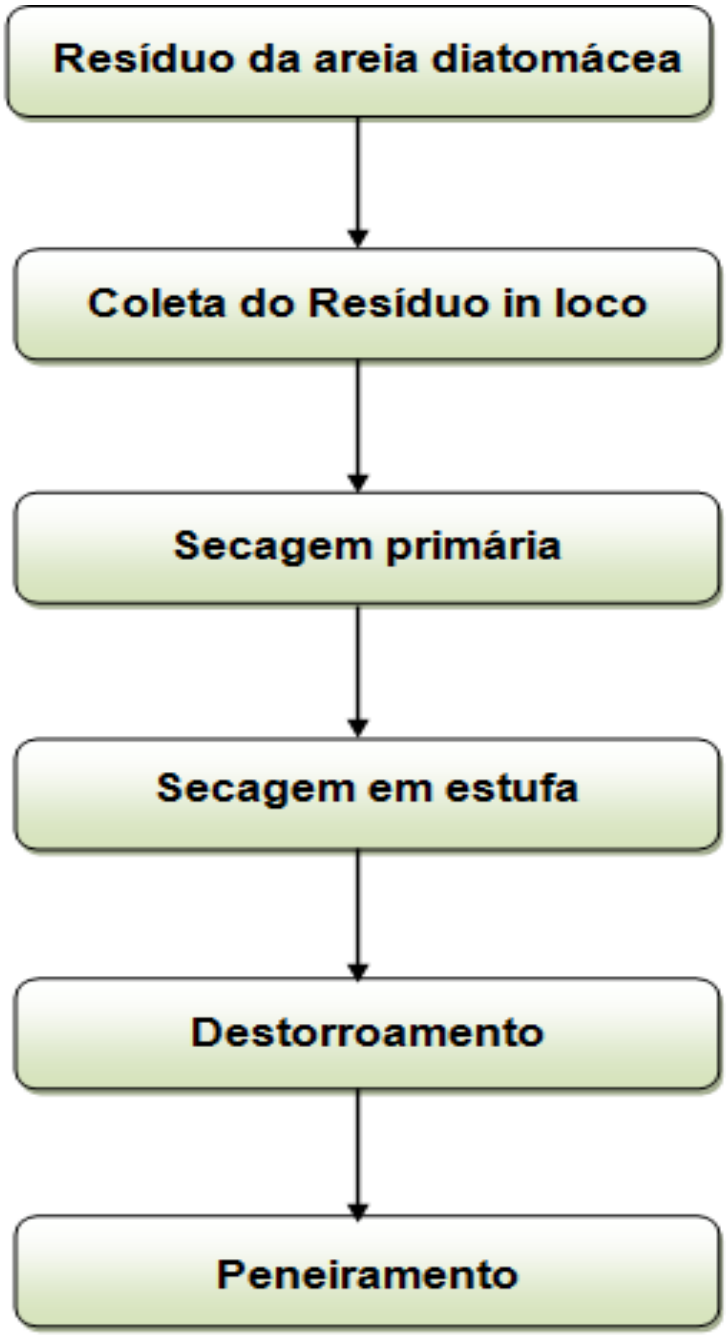
Este trabalho analisa as propriedades do tijolo de solo cimento com adição de resíduo de areia diatomácea dos filtros de uma cervejaria, visando compreender e analisar as características técnicas da incorporação de materiais residuais na sua concepção e uso como material constituinte na construção civil.

A metodologia aqui descrita aborda desde a preparação das amostras de solo sua caracterização descrito no **fluxograma 2**, preparação da amostra de areia diatomácea descrito no **fluxograma 3**, confecção dos tijolos s descritos no **fluxograma 4,** cura e execução de ensaios não destrutivos e destrutivos nos tijolos confeccionados com estes solo descritos no **fluxograma 5.**

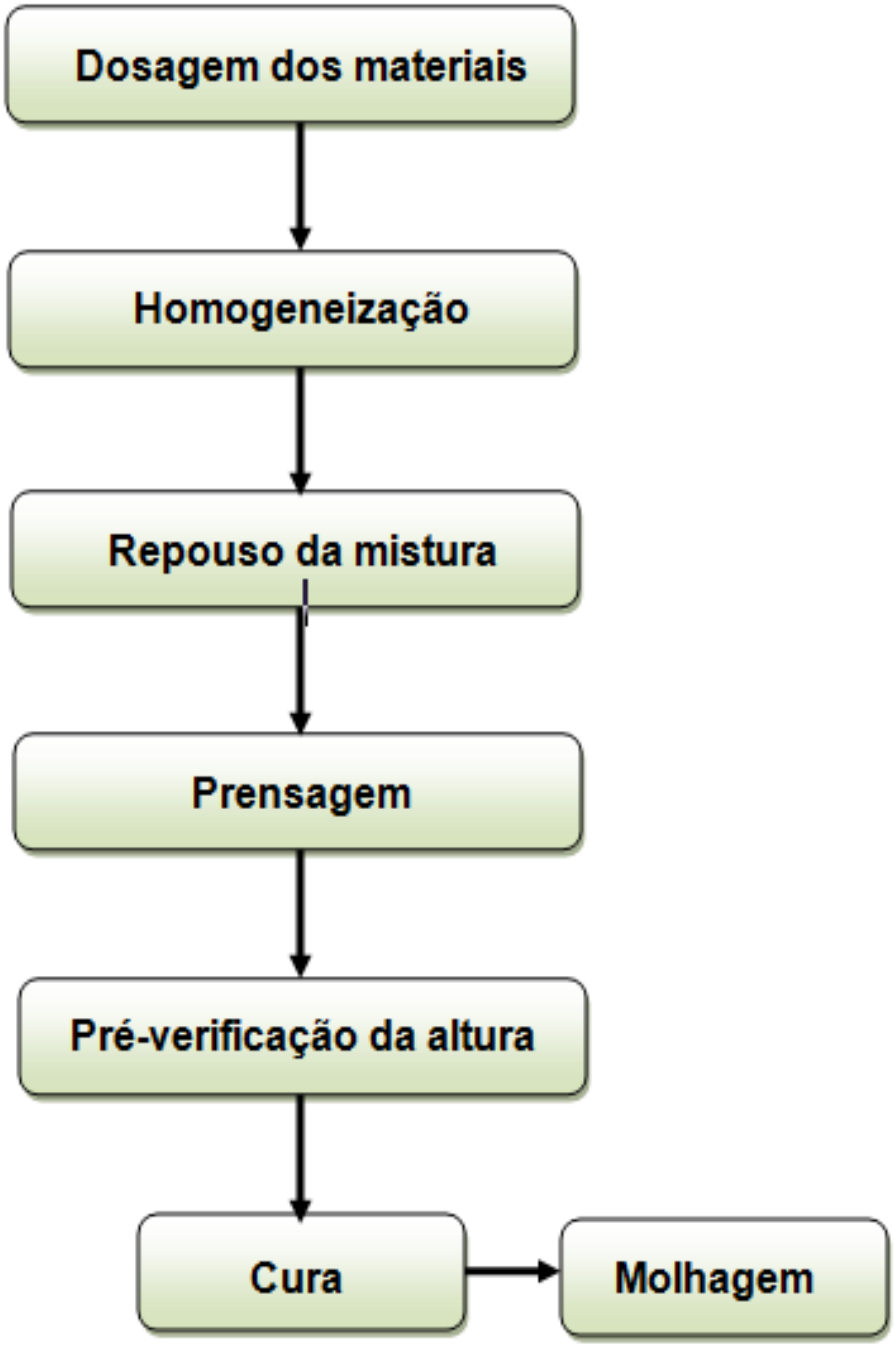
Fluxograma 2: Preparação das amostras de solo e caracterização



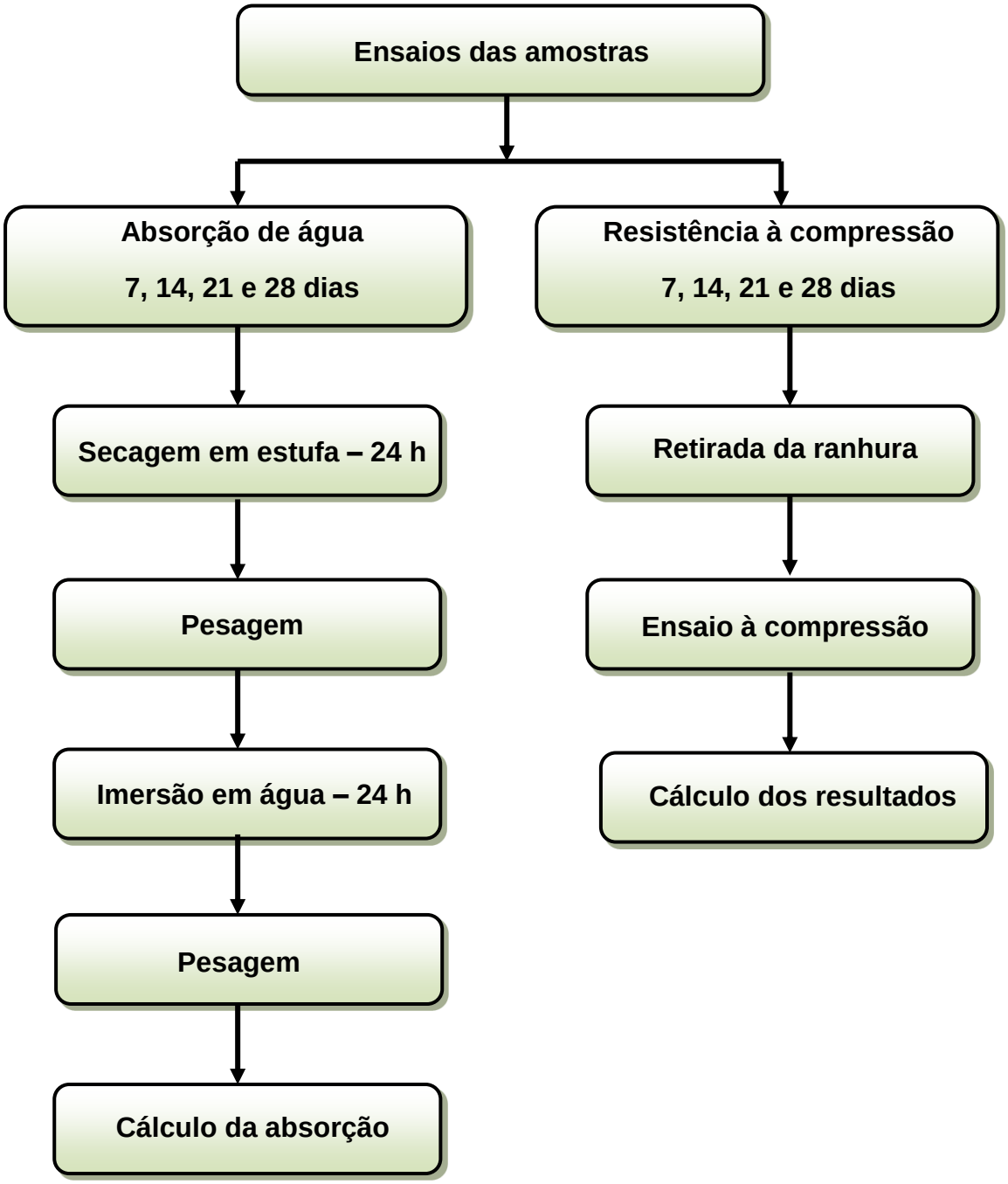
Fluxograma 3: Preparação das amostras de areia diatomácea



Fluxograma 4: Confecção dos tijolos



Fluxograma 5: Ensaios realizados



3.5 Estudo do Solo

3.5.1 Teste do vidro (teste visual)

Com base na sedimentação das partículas **figura 10**, pode-se observar que existe uma maior quantidade de partículas pesadas que sedimentassem na parte inferior da proveta **(AREIAS).** No centro, acumularam-se as partículas de peso médio **(SILTES)**,na parte superior, as partículas mais leves se acumularam **(ARGILAS)**, as partículas orgânicas que se depositam na parte superior a argila.

Figura 10: Teste visual do solo
Fonte: Autor

3.5.2 Coleta e preparação das amostras de solo

A preparação das amostras de solo iniciou-se com uma coleta prévia de solo e sua análise preliminar. Conhecidas as propriedades dos solos verificou-se que aquele solo se adequaria ao propósito de estudo.

Conforme observado a partir da revisão bibliográfica, vários solos com granulometrias diferenciadas podem ser utilizadas na confecção de tijolos de solo-cimento.

O solo foi espalhado dentro das dependências do laboratório sobre um material plástico para secagem dentro das dependências do laboratório como mostra a **figura 11**, sendo posteriormente destorroado – para desagregação dos torrões de

solo. Para a separação das frações de solo utilizou-se a escala da norma americana ASTM D 2487 (1993), onde ocorre a coincidência entre os valores limites para cada solo e as peneiras existentes no mercado. Desta forma tem-se: pedregulho (material retido na peneira # 4 (4,75 mm), areia grossa (material retido entre as peneiras # 4 (4,75 mm) e # 10 (2,0 mm), areia média (material retido entre as peneiras # 10 (2,0 mm) e # 40 (0,425 mm), areia fina (material retido entre as peneiras # 40 (0,425 mm) e # 200 (0,075 mm) e a fração fina composta por silte e argila (material passante na peneira # 200).

Figura 11: Secagem e preparação do solo retirado da jazida
Fonte : Autor

3.5.3 Caracterização do solo

Em virtude da diversidade de solos existentes, e da necessidade de comprovação destes solos para determinadas aplicações, ensaios de caracterização foram realizados. Estes ensaios serão descritos, onde a preparação e os procedimentos descritos seguem a norma brasileira NBR 6457, tais como, secagem, destorroamento e peneiramento na peneira 4,8 mm.

3.5.4 Teor de umidade

O teor de umidade é a relação entre a massa de água (obtida pela diferença de massas entre o solo úmido e o solo seco) e a massa de sólidos (solo seco) existentes em um mesmo volume de solo.

Para a realização deste ensaio, foram seguidas as especificações da norma brasileira NBR 6457, bem como os procedimentos adotados no Laboratório de Mecânica dos solos da Universidade Geraldo Di Biase (UGB– Barra do Piraí). É importante ressaltar que em todos os ensaios de caracterização é feita a determinação do teor de umidade.

3.5.5 Compactação Proctor Normal

Ensaio executado para verificar características do solo quanto à resistência mecânica de acordo com a adição de umidade, onde se identifica a umidade ótima e o peso específico seco máximo.

Que indicam que neste ponto, o solo se comporta com uma resistência mecânica satisfatória.

É o processo de tornar o solo um material mais denso e com menor índice de vazios atribuindo-lhe assim maior resistência, menor compressibilidade e permeabilidade. As energias de compactação especificadas pela norma brasileira NBR 7182 (1986) são: normal, intermediária e modificada. A energia de compactação utilizada nos ensaios foi a Proctor Normal. Usou-se por isso, o soquete e o cilindro pequenos. O solo foi compactado em 3 camadas iguais, sendo aplicados 26 golpes por camada, número de golpes necessário para atingir o valor da energia Proctor Normal de 583 kJ/m3.

Secou-se a amostra previamente. Após a secagem, a amostra foi colocada em uma bandeja onde foi executado o destorroamento conforme **figura 12**, ou seja, foram desfeitos os torrões existentes. Posteriormente, a amostra foi passada na peneira de 4,8 mm procurando-se sempre desmanchar os torrões. Sabendo-se que o ensaio pode se conduzido com ou sem reuso do material, optou-se pelo segundo caso, onde para cada determinação foi utilizada uma nova amostra totalizando um

número de cinco. O material utilizado no ensaio de compactação foi aquele que passou na peneira de 4,8 mm.

Determinou-se previamente o teor de umidade inicial da amostra. Conhecendo-se esse teor, estabeleceu-se um plano de execução do ensaio através do cálculo do acréscimo da massa de água à amostra inicial para cada teor de umidade programado. Procedeu-se em seguida a homogeneização da amostra.

Pesou-se o cilindro mostrado na **figura 13**, a ser utilizado, anotando-se sua massa. A **figura 14** ilustra cada amostra homogeneizada, foi colocada no cilindro e foram então aplicados, com o soquete conforme **figura 15**, os golpes referentes à energia de compactação Proctor Normal. A **figura 16** mostra o cuidado para que houvesse uma uniformização na distribuição dos golpes em toda a área do cilindro.

Entre as camadas foi executada a escarificação da superfície da camada compactada, para permitir uma melhor aderência com a camada seguinte. Repetiu-se o processo até que se completasse o número de camadas especificado pela energia de compactação (neste caso três). Como as camadas possuíam espessuras aproximadamente iguais; a última delas excedeu a altura do cilindro. Após a retirada do colar do cilindro, o excesso existente foi cuidadosamente retirado nivelando-se a superfície com uma régua biselada.

Desta forma, o solo passou a possuir o mesmo volume do cilindro.

Determinou-se a massa do conjunto cilindro + solo compactado e em seguida retirou-se a amostra compactada do interior do cilindro por meio de um extrator de amostras conforme **figura 17.**

A **figura 18** mostra a retirada de uma parcela da amostra de solo compactado para a determinação do teor de umidade. Repetiu-se esse mesmo processo para cada uma das demais determinações, obtendo-se assim, dois pontos com umidade superior, dois pontos com umidade inferior e um ponto próximo do teor de umidade ótimo estimado.

A relação entre a massa de solo compactado e seu volume forneceu a massa específica úmida denominada simplesmente de massa específica. Ao se considerar o teor de umidade presente na amostra determinou-se a massa específica aparente seca. Com os pares de pontos, massa específica aparente seca e teor de umidade foram desenhados a curva de compactação do solo, da qual se extraiu o teor de umidade ótimo correspondente a massa específica aparente seca máxima (o pico da curva).

Figura 12: Destorroamento

Figura 13: cilindro

Figura 14: Preparação da amostra

Figura 15: Aplicação do apiloamento

Figura 16: Solo após apiloamento

Figura 17: Extração da amostra

Figura 18: Término do ensaio
Fonte: Autor

3.5.6 Massa específica dos sólidos

É o valor médio da massa específica de cada tipo de grãos minerais que constituem a fase sólida de um solo. A massa específica dos sólidos é também denominada de massa específica dos grãos.

Para a execução deste ensaio, foram observadas as especificações da norma NBR 6508 e os procedimentos do Laboratório de Mecânica dos solos da Universidade Geraldo Di Biase (UGB – Barra do Piraí). Foram realizadas um mínimo de três determinações para o solo, onde foram considerados satisfatórios, os ensaios que apresentaram resultados com diferença menor que 0,02 g/cm³ da média, valor este correspondente à massa específica dos sólidos.

3.5.7 Limites de consistência

Chamados também de limites de Atterberg, consistem na determinação dos teores limite de umidade entre os estados de consistência líquido, plástico, semi-sólido e sólido, determinados em solos finos ou em frações finas dos solos. Tais limites são divididos em:

- Limite de Liquidez (LL): limita a umidade entre o estado líquido e o estado plástico;
- Limite de Plasticidade (LP): limita a umidade entre o estado plástico e o estado semi-sólido;
- Limite de Contração (LC): limita a umidade entre o estado semi-sólido e o estado sólido;

Para este experimento foram determinados apenas os limites de liquidez e de plasticidade.

3.5.8 Limite de Liquidez

Teor de umidade do solo com o qual se unem, em um centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canelura feita em uma massa de solo colocada na concha do Aparelho de Casagrande (APÊNDICE B), sob a ação de 25

golpes da concha, sobre a base do aparelho. O limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido. É representado por LL, expresso em porcentagem.

3.5.9 Limite de Plasticidade

A determinação do limite de plasticidade seguiu as especificações da norma NBR 7180 (1984). Portanto, o limite de plasticidade foi determinado a partir da média de valores dos teores de umidade correspondentes aos cilindros de solo com as dimensões do gabarito e obedecendo a um desvio de 5% com relação à média.

3.5.10 Análise granulométrica

A análise granulométrica consiste na determinação do tamanho dos grãos e suas respectivas porcentagens de ocorrência. Esta determinação foi executada seguindo as especificações da norma NBR 7181 bem como os procedimentos do Laboratório de Mecânica dos solos da Universidade Geraldo Di Biase (UGB – Barra do Piraí).

Para o peneiramento grosso utilizou-se o material retido na peneira # 10 (2,0 mm) e passante na peneira de 76 mm. O material passante na peneira # 10 (2,00 mm) foi usado na determinação do teor de umidade da amostra e na sedimentação. Do material da sedimentação utilizou-se a porção que ficou retida na peneira # 200 (0,075 mm) para o peneiramento fino.

As peneiras de 1,2; 0,6; 0,42; 0,25; 0,15 e 0,075 mm foram utilizadas no peneiramento fino, sendo para o peneiramento grosso utilizamos as peneiras de 9,5; 4,8 e 2,0 mm.

A partir das massas retidas em cada peneira, determinaram-se as porcentagens de solo referentes aos determinados diâmetros das partículas de solo nos peneiramentos grosso e fino. Na sedimentação, a partir das leituras de densidade da solução, estabeleceu-se a porcentagem de solo referente a cada dimensão de partícula, determinando-se a curva granulométrica do material e a classificação do solo utilizado.

3.6 Coleta e preparação do resíduo de areia diatomácea

A preparação das amostras de resíduos de areia diatomácea iniciou-se com a coleta do resíduo nas dependências da Cervejaria Mistura Clássica situada a Av. Almirante Adalberto de Barros Nunes, 1904 - Bairro Vila Mury - Volta Redonda – RJ. A **figura 19,** ilustra o transporte do material, onde foi devidamente acondicionado em recipientes plásticos para facilitar o transporte.

Figura 19: Resíduo de areia diatomácea

Fonte: Autor

3.6.1 Secagem primária do resíduo

A primeira etapa de preparação **figura 20**, consiste na secagem prévia do resíduo com a finalidade de se retirar o excesso de materiais líquidos presentes na amostra. Esta etapa foi realizada secando-se todo o material em uma chapa galvanizada colocada sobre um fogão industrial e misturando-se o material constantemente até a evaporação da maioria dos materiais líquidos presentes no resíduo.

Figura 20: Fogão industrial e chapa galvanizada para secagem inicial do resíduo.
Fonte: Autor

3.6.2 Etapas de secagem.

A sequência da **figura 21 (A – I)** ilustra a secagem primária da amostra é feita logo após a coleta das amostras, uma vez que o resíduo está impregnado de material orgânico e sujeito as ações dos organismos, que em contato com o ar tornam o material impróprio para utilização.

Sequência A-B – material in natura sendo transferido para a chapa de secagem.

Sequência C-D – Início da secagem o material líquido começa a evaporar resultando em uma massa pastosa.

Sequência E-F – Processo de evaporação dos líquidos presentes no resíduo.

Sequência G-H – Fase final da secagem preliminar - resíduo praticamente seco

A **B**

Secagem primária do resíduo – resíduo in natura

C **D**

Secagem primária do resíduo – Início da secagem

E

F

Secagem primária do resíduo – secagem

G

H

Secagem primária do resíduo – fase final secagem

Figura 21: Secagem primária do resíduo – Material seco
Fonte: Autor

3.6.3 Secagem na Estufa.

Após a secagem primária os resíduos de areia diatomácea foram levados a estufa MED CLAVE– modelo 5, conforme **figura 22,** do laboratório por 24 horas a uma temperatura de 100 °C acondicionadas em bandejas metálicas **figura 23**, para a evaporação total dos líquidos remanescentes da secagem primária, de acordo com a **figura 24**.

Figura 22: Estufa MED CLEAN – mod. 5

Fonte: Autor

Figura 23: Material no interior da estufa
Fonte: Autor

Figura 24: Material após secagem na estufa
Fonte: Autor

3.6.4 Destorroamento do resíduo de areia Diatomácea

Após a secagem todo o material foi destorroado coo ilustrado na **figura 25** para posterior peneiramento e homogeinização do material.

Figura 25: Destorroamento do resíduo
Fonte: Autor

3.6.5 Peneiramento.

O peneiramento é a fase seguinte da preparação do resíduo, o peneiramento do resíduo foi feito com a peneira de 2,00 mm malha 10. Conforme a sequência das **figuras 26 e 27** e o resíduo final peneirado acondicionado em recipientes plástico para evitar a absorção da umidade proveniente do ar, como ilustrado na **figura 28**.

Figura 26: Peneira 2,00 mm malha 10
Fonte : Autor

Figura 27: Material sendo peneirado
Fonte : Autor

Figura 28: Resíduo seco e peneirado
Fonte: Autor

3.7 Confecção das Amostras

3.7.1 Dosagem dos tijolos.

Para a dosagem dos componentes do tijolo de solo cimento optou-se pela dosagem volumétrica dos componentes feitas em baldes graduados conforme **figura 29,** sendo assim, a sequência solo, cimento, resíduo e água foi equalizada conforme as dosagens estabelecidas em cada amostra de acordo com a **Tabela 5**.

Figura 29: Medição do material
Fonte: Autor

Tijolo Padrão	
Quant. de Materiais	
Cimento	5 litros
Solo	40 litros
Resíduo	-
Água	4 litros

Amostra D1 – 5% de resíduo (Solo)	
Quant. de Materiais	
Cimento	5 litros
Solo	38 litros
Resíduo	2 litros
Água	4 litros

Amostra D2 – 10% de resíduo (Solo)	
Quant. de Materiais	
Cimento	5 litros
Solo	36 litros
Resíduo	4 litros
Água	4 litros

Amostra D3 – 15% de resíduo (Solo)	
Quant. de Materiais	
Cimento	5 litros
Solo	38 litros
Resíduo	2 litros
Água	4 litros

Amostra D4 – 20% de resíduo (Solo)	
Quant. de Materiais	
Cimento	5 litros
Solo	32 litros
Resíduo	8 litros
Água	4 litros

Amostra D5 – 25% de resíduo (Solo)	
Quant. de Materiais	
Cimento	5 litros
Solo	30 litros
Resíduo	10 litros
Água	4 litros

Amostra NDC 01 – 5% de resíduo (CIMENTO)	
Quant. de Materiais	
Cimento	4,75 litros
Solo	40 litros
Resíduo	0,25 litros
Água	4,6 litros

Amostra NDS 01 – 10% de resíduo (Solo + cimento)	
Quant. de Materiais	
Cimento	5,5 litros
Solo	40 litros
Resíduo	4,0 litros
Água	5,1 litros

Amostra NDS 02 – 15% de resíduo (Solo + cimento)	
Quant. de Materiais	
Cimento	5,75 litros
Solo	40 litros
Resíduo	6,0 litros
Água	5,4 litros

Tabela 5: Dosagem das Amostras

Fonte: Autor

3.7.2 Homogeneização da mistura

Para uma melhor homogeneização usou-se como misturador do traço uma betoneira marca PRÁTICA com capacidade para 120 litros, ilustrada na **figura 30.**

Figura 30: Betoneira Prática – 120 litros
Fonte: Autor

Durante o processo de mistura dos componentes, a adição da água é fator primordial para obtenção homogênea da mistura, se a adição da água for feita de maneira incorreta haverá o acúmulo de água em determinados pontos o que resultará em torrões com excesso de água e outra parte com quantidade insuficiente de água. Para evitar esse processo, usou-se uma pistola a ar comprimido com a finalidade de aspergir a água em toda a mistura, para isso usou-se um compressor PRATIC AIR – CSA 8,2/30 – SCHULZ, **figura 31**, equipado com a pistola para pintura.

Figura 31: Compressor a ar comprimido
Fonte: Autor

3.8 Fabricação de tijolo de solo cimento.

Após análise das bibliografias, normas, experiências já realizadas e informações técnicas do representante da prensa hidráulica utilizada, optou-se por um traço que se considera de boa resistência para a fabricação de tijolos de solo cimento, sendo este de 8:1, ou seja, oito partes de terra para uma parte de cimento. Pós a padronização do traço utilizou-se baldes graduados para a medição dos materiais, sendo que o volume utilizado para cada traço é de 40 litros de solo para cada 5 litros de cimento.

A **figura 32** determina a sequência operacional após a medição de cada parte da mistura, o material foi colocado dentro da betoneira para homogeneização do traço, seguindo-se uma sequência de inserção de materiais, na qual primeiro é colocada uma parte do solo, a seguir o cimento e deixa-se a mistura homogeneizar por um breve intervalo de tempo, em seguida adiciona-se o resíduo e por o restante do solo, somente depois deste processo, adiciona-se água até atingir a umidade ótima para a compactação, que se encontra no intervalo de 15 a 20% do volume total, o percentual de umidade depende das condições em que se encontra o solo e da umidade relativa do ambiente, mostrada na **sequência A-B.**

A consistência ideal para prensagem é determinada através de um teste simples de compressão manual da amostra, apertando-se parte da mistura fortemente no interior da mão, e se a amostra estiver com boa compactação está pronta para ser utilizada na prensa hidráulica, como mostra a **sequência C.**

Após a homogeneização a mistura ficou descansando por aproximadamente **10 a 15 minutos**, pois, segundo a bibliografia indica que se a mistura úmida solo cimento for deixada solta por algum tempo antes de ser compactada **sequência D**, o solo, principalmente os mais finos tem suas característica granulométricas transformadas, melhorando as características de compactação e resultando em melhores resultados nas propriedades físicas e mecânicas do tijolo.

A **B**

C **D**

Figura 32: Mistura após homogeneização
Fonte: Izabella Valadão

Após o período de repouso a mistura foi colocada diretamente na prensa hidráulica para a realização da prensagem, onde a mistura é prensada com força de compressão na ordem de 6 toneladas para a compactação da amostra.

A **figura 33** mostra a sequência executiva da compactação das amostras, deve-se ter o cuidado no manuseio da máquina, observando-se os cuidados com a segurança do operador e os equipamentos de segurança obrigatórios.

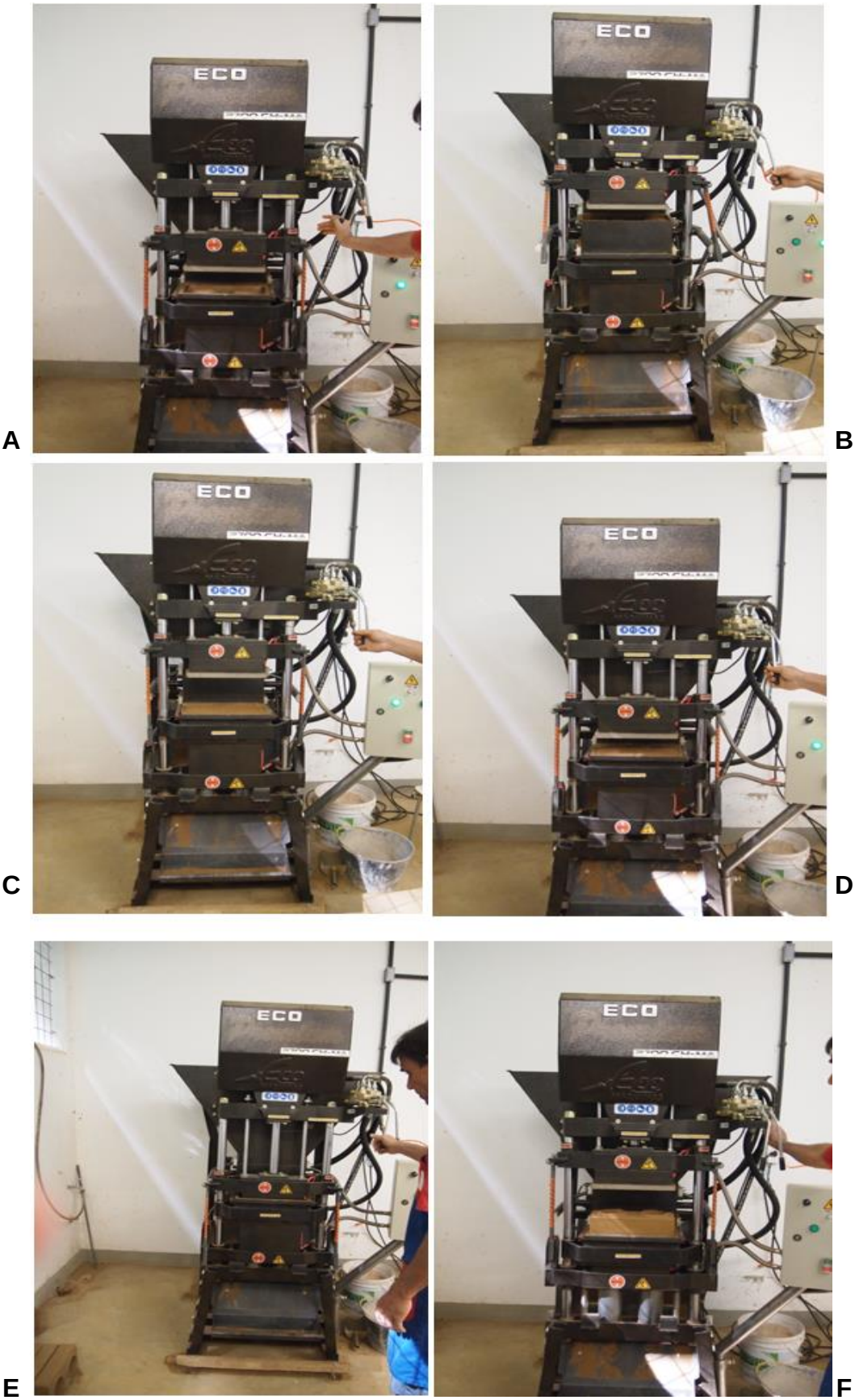


Figura 33: Sequência de fabricação dos tijolos na Prensa Hidraúlica
Fonte: autor

Com a moldagem dos tijolos retira-se da prensa com cuidado para não danificar, coloca-se sobre uma bancada de acordo com a **figura 34**, e efetua-se a aferição da altura com um paquímetro, pois a altura proposta foi padronizada em 66,5 mm podendo sofrer uma variação máxima de 1 mm entre os dois lados do mesmo tijolo e uma variação de até 3 mm entre os tijolos prensados.

Figura 34: identificação dos tijolos após a prensagem
Fonte: autor

3.8.1 Dimensão do tijolo

Por se tratar de um tijolo de solo cimento, as dimensões do tijolo são de fundamental importância para um bom encaixe entre eles. Sendo assim, na **figura 35,** a prensa hidráulica ECO PREMIUM 2700 da empresa ECO MÁQUINAS, foi fundamental para que todas as dimensões da amostra fossem padronizadas conforme **figura 36**.

Figura 35: Prensa Hidraúlica ECO Premium
Fonte: Autor

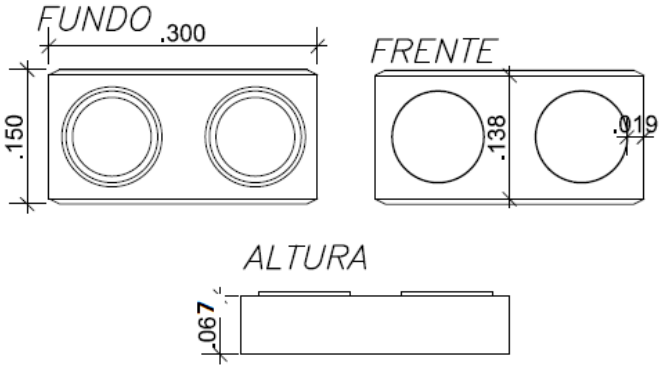


Figura 36: Dimensões do tijolo
Fonte: autor

As dimensões dos tijolos apresentadas não sofrem variações acima de ±3 mm em virtude de sua compactação ser feita em forma com dimensões pré-estabelecidas pelo fabricante da prensa hidráulica. A única dimensão sujeita a variação é a espessura, na qual sofre influência da composição do traço prensado, para esta dimensão também foi utilizada a margem de ±3 mm para obtenção de amostras padronizadas. Os valores apresentados foram obtidos através do valor médio da medição de três unidades, retiradas aleatoriamente de cada amostra confeccionada. De acordo com os valores apresentados as amostras estão dentro do limite pré-estabelecido inicialmente.

3.8.3 Quantidade de amostras

Cada traço de solo forneceu em média 14 tijolos os quais foram submetidos aleatoriamente aos testes de resistência a compressão e absorção de água durante os períodos de 7,14, 21 e 28 dias de cura.

3.8.2 Cura das amostras

Após a medição os tijolos foram colocados em uma parte coberta do laboratório destinado a cura, este local é protegido do sol eliminando-se a utilização da lona plástica de cobertura, eles forma dispostos em fileiras organizadas de acordo com o tipo de mistura e identificado em suas laterais, conforme **figura 37**.

Durante sete dias os tijolos foram molhados para se evitar a perda de umidade para o meio externo e favorecer a reação química entre o cimento e o solo.

Figura 37: Cura dos tijolos e molhagem das amostras
Fonte: autor

3.8.3 Método para a escolha dos tijolos.

Os tijolos foram escolhidos aleatoriamente nos lotes de 14 amostras, a quantidade de amostras utilizadas foram: 6 amostras para verificação dimensional, 3 amostras para cada ensaio de compressão e 3 amostra para o ensaio de absorção de água. Esse método para a escolha das amostras segue a recomendação da NBR 10834 e as quantidades descritas na **Tabela 6**.

Ensaio	Procedimento	Idade dos tijolos	Nº de tijolos/ensaio
Verificação Dimensional	**Medida Individual**	**7 dias**	**6**
Resistência à compressão	**NBR 10836 e NBR 8492**	**7,14, 21e 28 dias**	**3**
Absorção de água	**NBR 10836 e NBR 8492**	**7 e 28 dias**	**3**

Tabela 6: Número de amostra por ensaios

Fonte: Autor

Desta forma os ensaios foram efetuados com amostras de diferentes idades pós-fabricação dos tijolos, com o intuito de avaliar o ganho de resistência ao longo do tempo e a diferença na capacidade de absorção da água, com a finalidade de definir qual a idade em que o tijolo pode ser utilizado como alvenaria, sem comprometer a qualidade e a resistência da obra.

3.8.4 Ensaio de Absorção de água

As amostras dos tijolos referentes à pesquisa foram secas em estufa conforme **figura 38**, entre 105°C e 110°C, até a constância de massa, as pesagens foram efetuadas assim que os tijolos atingiram a temperatura ambiente, obtendo-se assim a massa M1 – Massa do tijolo seco, medido em gramas, conforme **figura 39**.

Figura 38: Secagem na estufa
Fonte: Autor

Figura 39: Pesagem após estufa
Fonte: Autor

Após esse procedimento os tijolos foram imersos em um tanque com água durante 24h, conforme **figura 40**.

Figura 40: Imersão durante 24 horas
Fonte: Autor

Após esse período foram retirados ficando descansando durante alguns minutos para a saída do excesso de água, em sequência foram enxugados

superficialmente com um pano seco e pesados, obtendo-se assim a massa do tijolo saturado M2, em gramas, conforme **figura 41**.

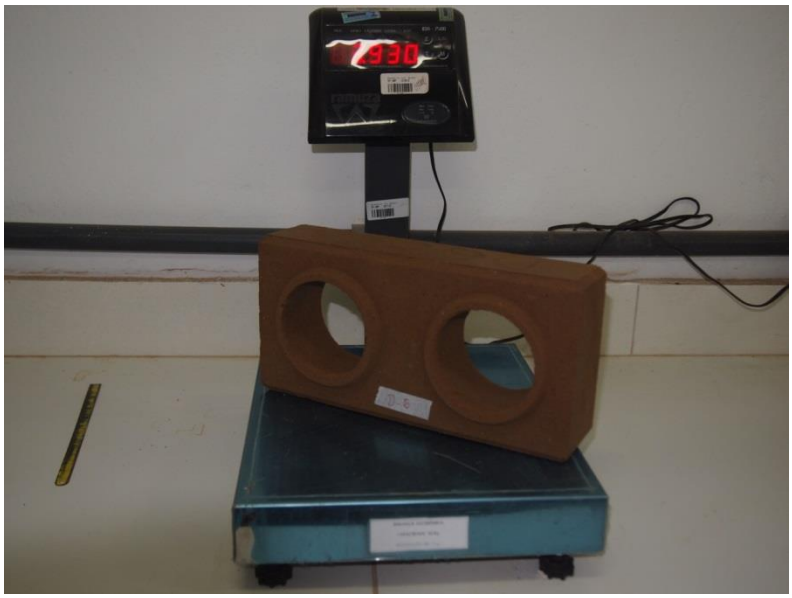


Figura 41: Pesagem após imersão em água de 24 horas
Fonte: Autor

A capacidade total de absorção de água se dá pela diferença percentual entre a massa saturada e a massa seca do tijolo, calculada em base seca. As absorções individuais foram obtidas pela equação abaixo, enquanto a absorção média de cada conjunto foi determinada pela média aritmética de 3 repetições.

$$\boldsymbol{A = \frac{M2 - M1}{M1} \, . 100}$$

M1 – Massa do tijolo seco em estufa (g)

M2 – Massa do tijolo saturado (g)

A – Absorção de água (%)

Os valores ideais a serem encontrados neste teste são: máxima de 20% (média) e 22% (individualmente), de acordo com NBR 8492 – Tijolo Maciço de solo cimento – Determinação da resistência a compressão e absorção de água. Métodos de ensaios.

3.8.5 Ensaios de resistência à compressão.

Para este tipo de ensaio foram preparados três corpos de prova para cada ensaio. Os corpos de prova foram colocados diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio a compressão **figura 42**, a seguir os corpos de prova foram centralizados com ajuda de uma régua graduada.

Na face superior as ranhuras decorrentes dos encaixes dos tijolos foram retiradas para se obter uma superfície plana. A face superior não sofreu nenhum tipo de capeamento, pois a prensa utilizada possui uma placa específica de rompimento para blocos, **figura 43**. A pressão de compressão desta forma foi aplicada diretamente na face superior do tijolo. A aplicação da carga ocorreu de maneira uniforme e os resultados foram obtidos em Kgf, as cargas foram sendo gradativamente elevada até ocorrer à ruptura do tijolo, **figura 44**. O resultado final do ensaio é obtido dividindo-se a carga máxima de ruptura aplicada pela área da seção transversal do tijolo. A resistência média foi obtida a partir da média aritmética das três repetições de cada ensaio.

Figura 42: Prensa com placas para ensaio de compressão
Fonte: autor

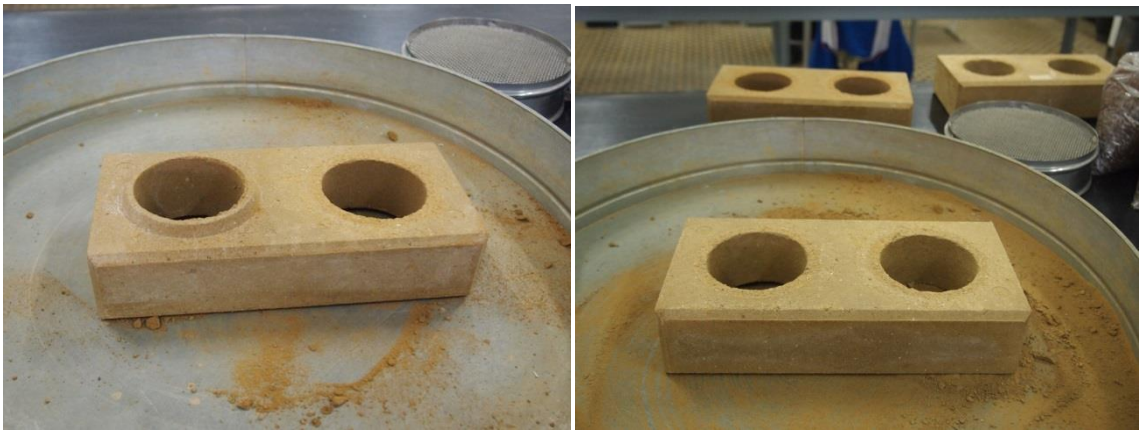


Figura 43: retirada das ranhuras para colocação na prensa.
Fonte: Autor

Figura 44: Tijolo na prensa hidráulica para ensaio à compressão
Fonte: Autor

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Imagens Microscópicas do resíduo.

Para a obtenção das imagens foi utilizado o Microscópio de varredura eletrônica modelo TM 3000 da HITACHI, **figura 45**.

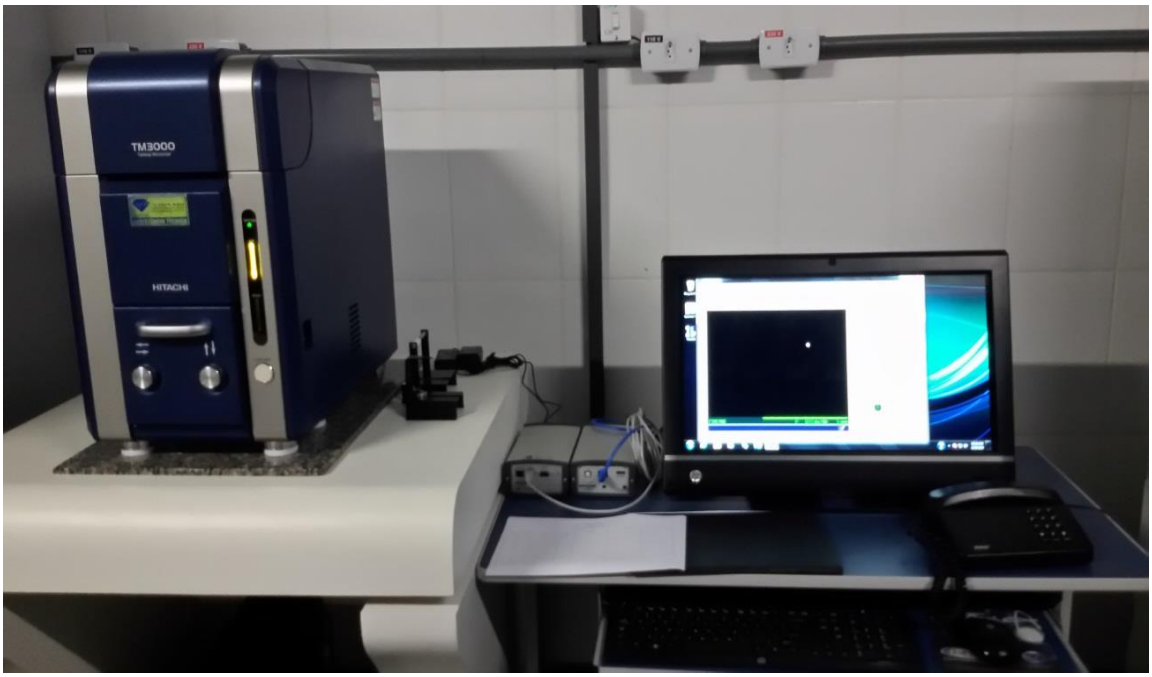


Figura 45: Microscópio Eletrônico de varredura
Fonte : Autor

As imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura estão apresentadas na sequência de figuras **46 a 53.**

As imagens da microscopia revelaram os vários elementos filtrantes existentes na composição da areia diatomácea, na figura 47 a aglomeração de material é responsável pelo alto teor filtrante da areia diatomácea, na figura 50 visualiza o conjunto filtrante dos alvéolos hexagonais responsáveis pela filtração do líquido.

Na sequência de imagens 51 a 53 aparecem as estruturas mais finas que são responsáveis pela filtração das menores partículas que constituem a cerveja.

O trabalho resultante da forma, elementos e dimensões, torna a areia diatomácea um excelente elemento filtrante na fabricação da acerveja.

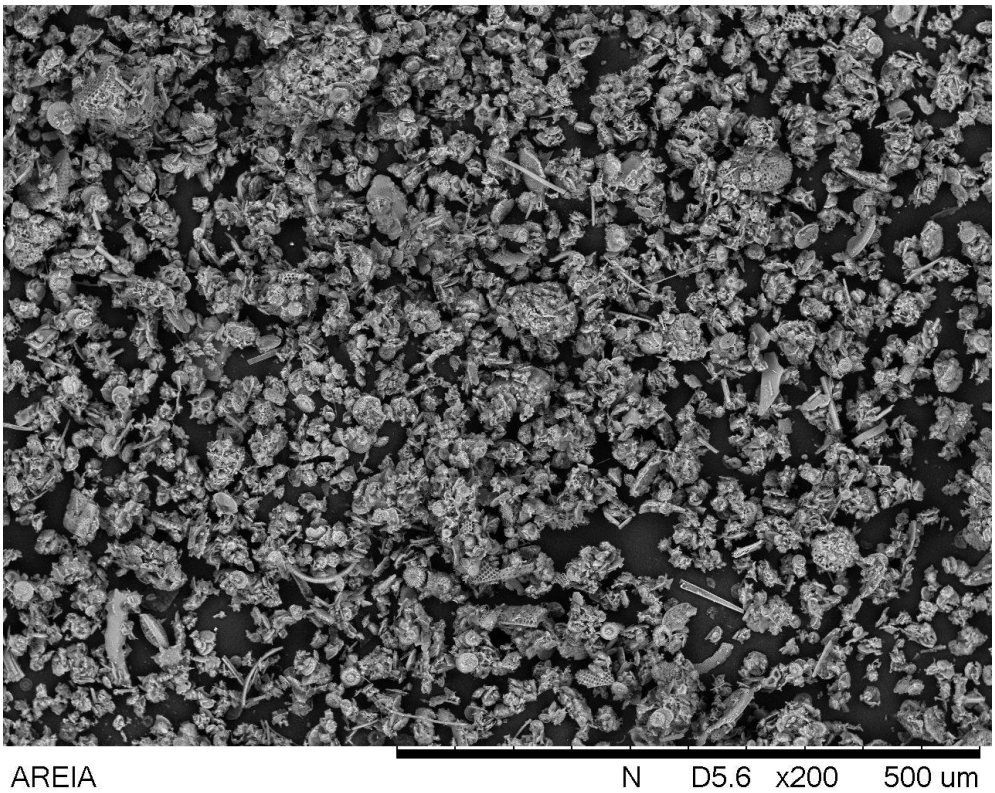


Figura 46: Areia diatomácea ampliada 200x
Fonte: Autor

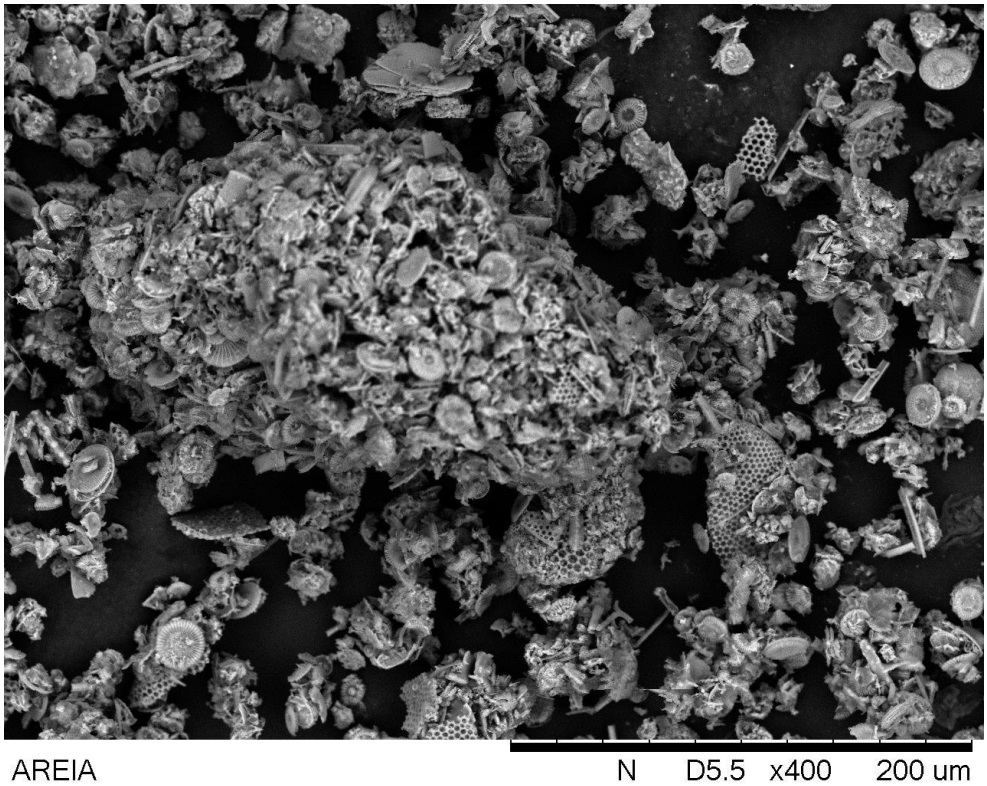


Figura 47: Areia diatomácea ampliada 400x
Fonte: Autor

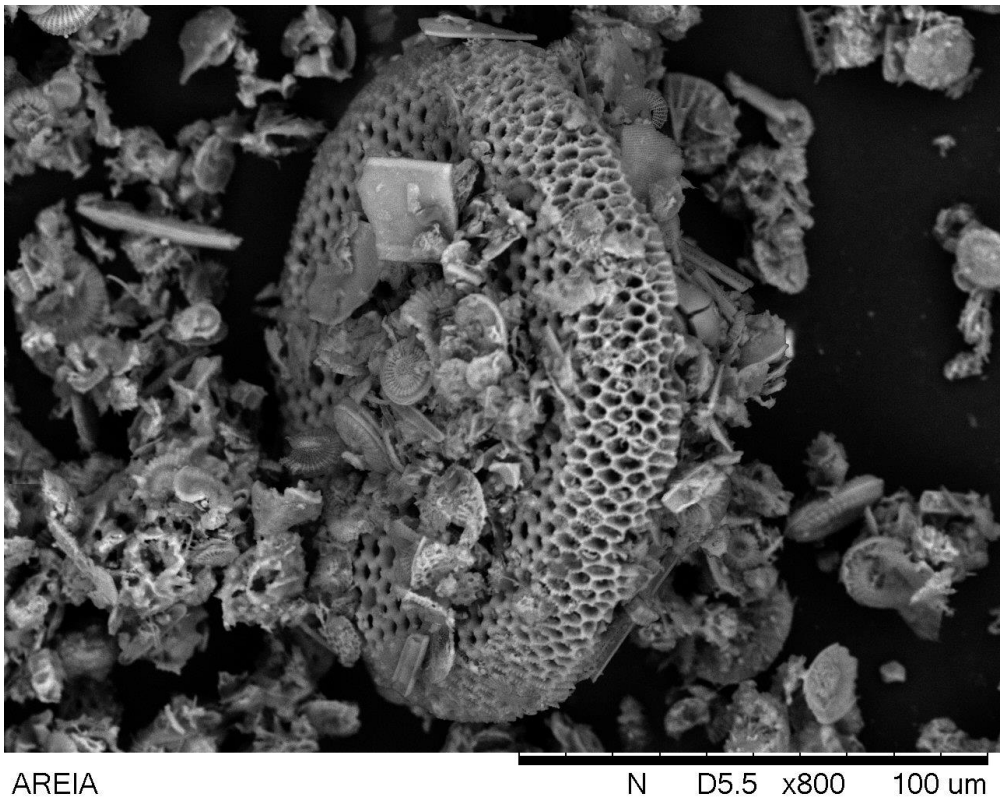


Figura 48: Areia diatomácea ampliada 800x
Fonte: Autor

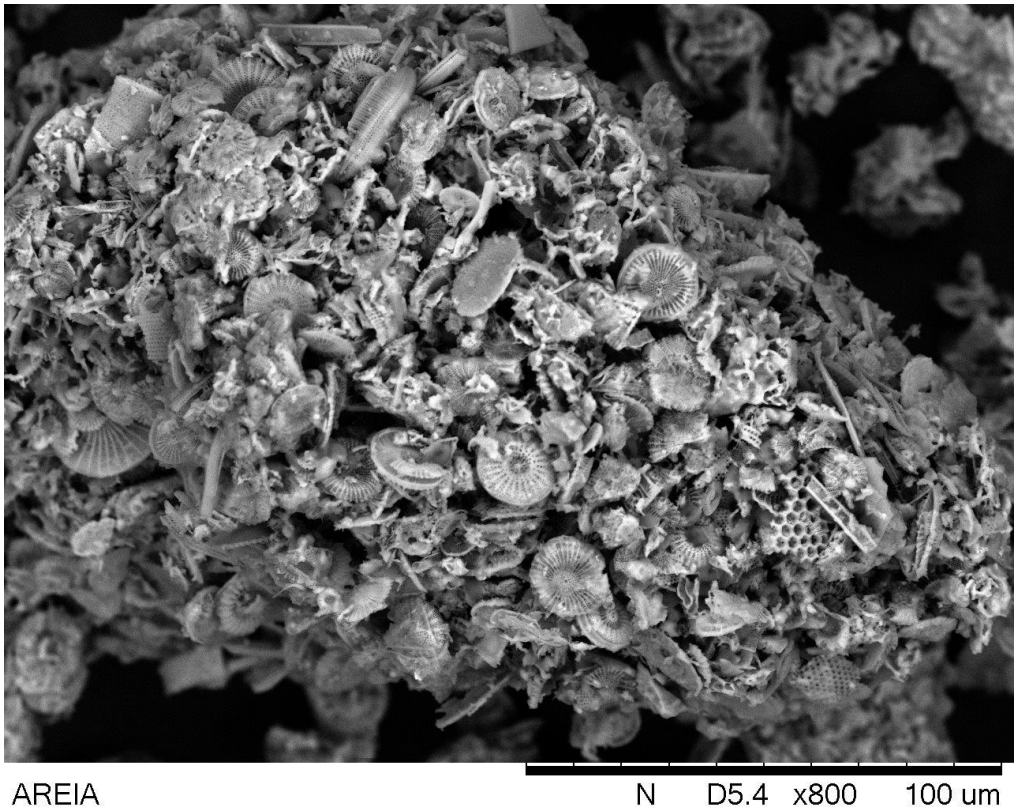


Figura 49: Areia diatomácea ampliada 800x
Fonte: Autor

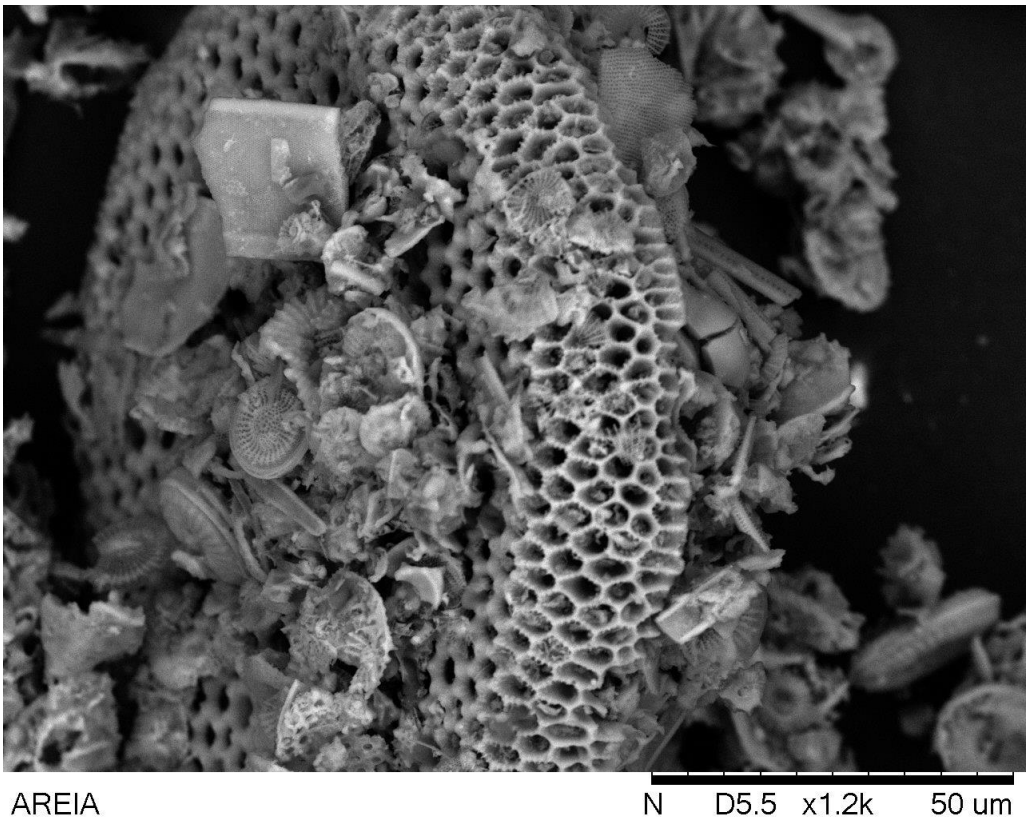


Figura 50: Areia diatomácea ampliada 1200x
Fonte: Autor

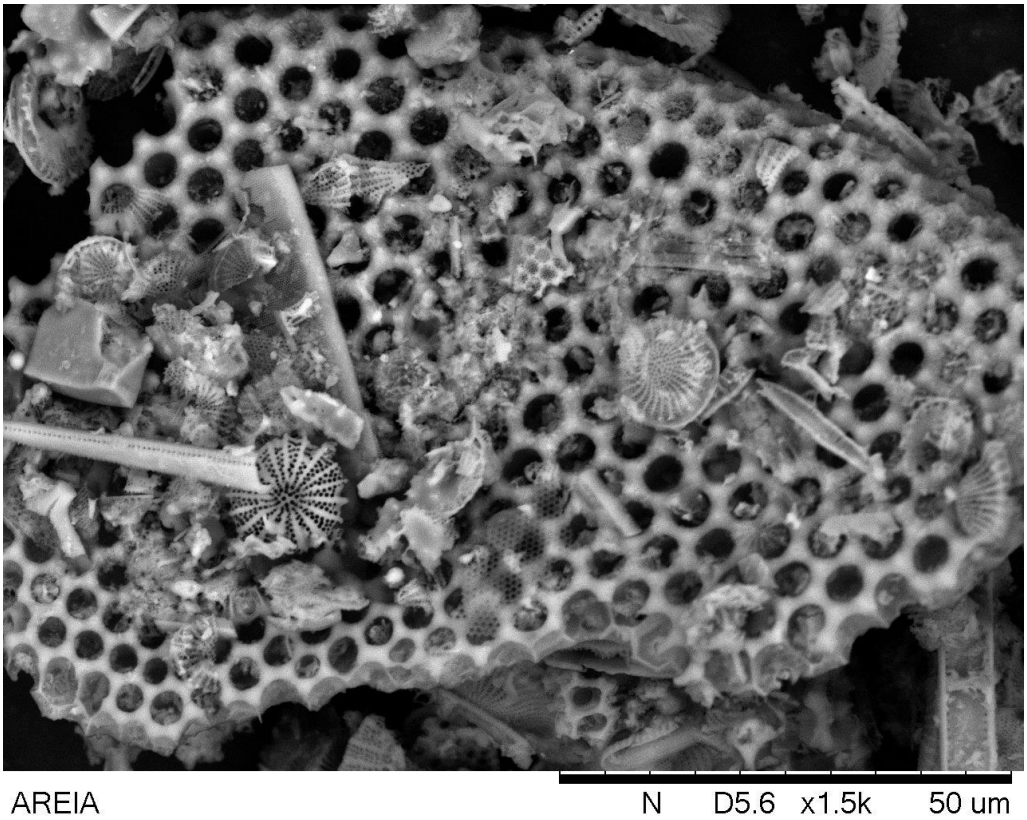


Figura 51: Areia diatomácea ampliada 1500x
Fonte: Autor

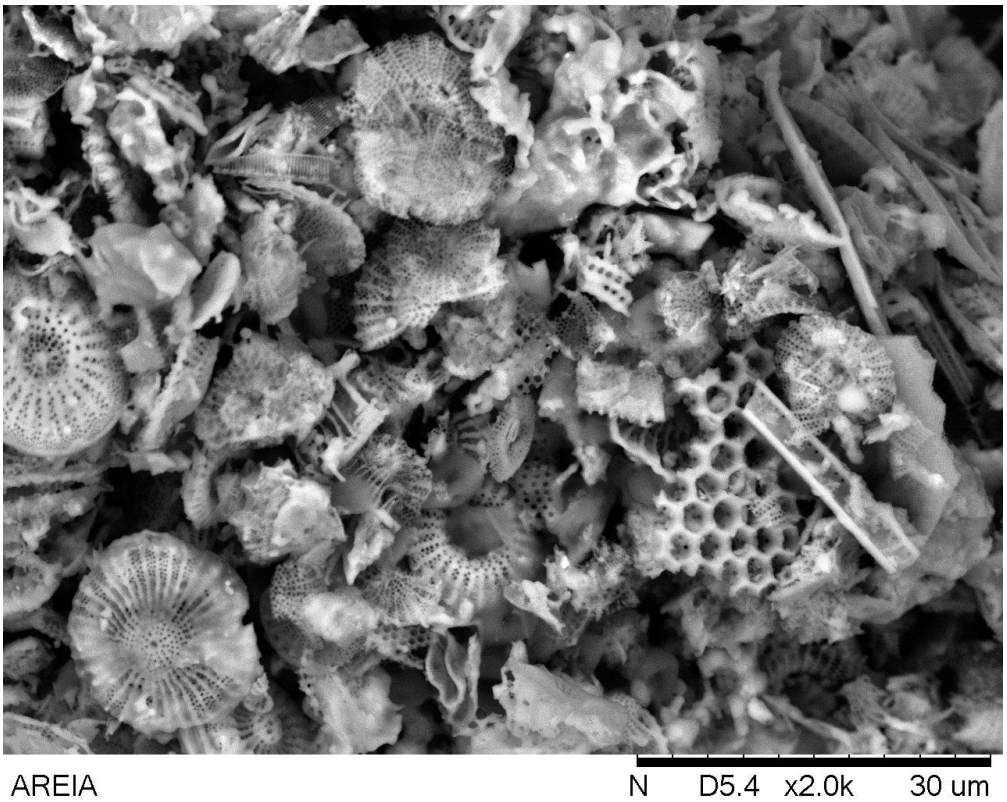


Figura 52: Areia diatomácea ampliada 2000x
Fonte: Autor

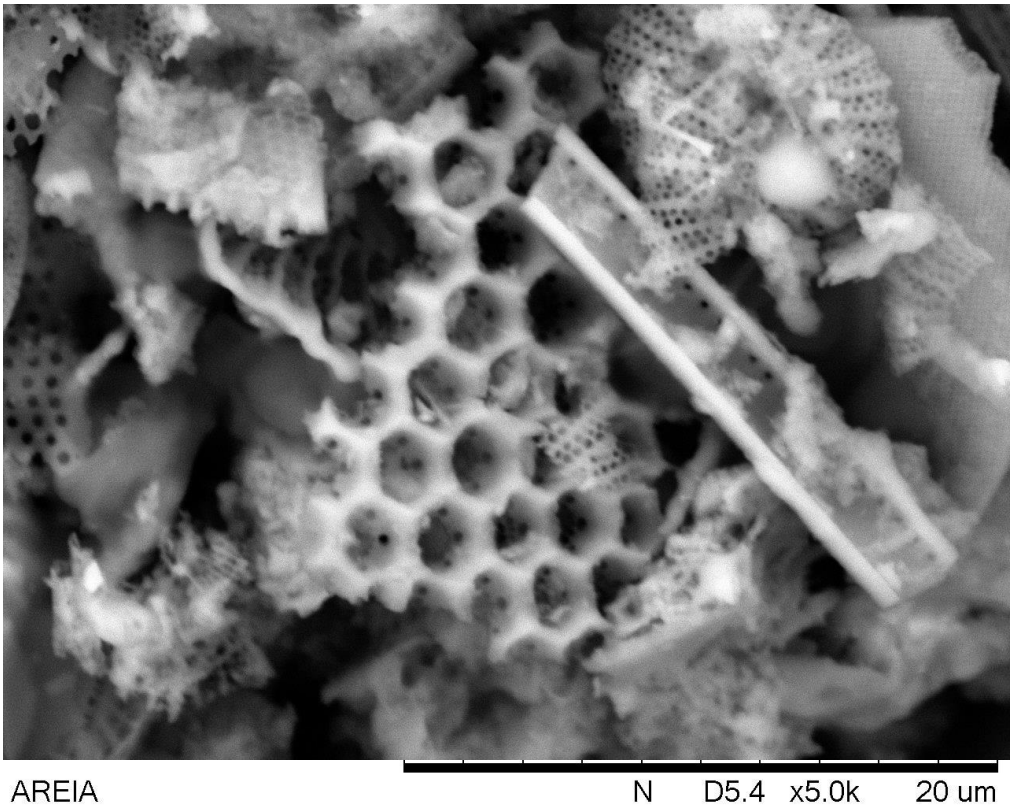


Figura 53: Areia diatomácea ampliada 5000x
Fonte: Autor

4.2 Análises do solo

4.2.1 Teste do vidro

O resultado preliminar da análise do solo é feito através deste teste, na qual foi efetuada a estimativa de cada camada de solo, conforme a **figura 54** e a **Tabela 6**, e feita sua proporção em relação à altura total da amostra.

Figura 54: Resultado do ensaio do teste do vidro

Fonte: Autor

Estimativa de tipo de camada	Altura	% estimada
Arenoso	11,7 cm	65 %
Siltoso	3,5 cm	19%
Argiloso	3,0 cm	16%

Tabela 7: Resultado do teste do vidro

Com base nesta análise preliminar a amostra de solo foi destinada a uma análise mais detalhada de suas características granulométricas.

4.2.2 Granulometria

Com base na NBR- 7181 determinou-se a porcentagem em peso de partículas representativas da massa total ensaiada e com os resultados foi determinada a curva de distribuição granulométrica **(Gráfico 5),** que é importante para a classificação dos solos, cujas proporções de materiais encontrados no ensaio estão descritos na **Tabela 8.**

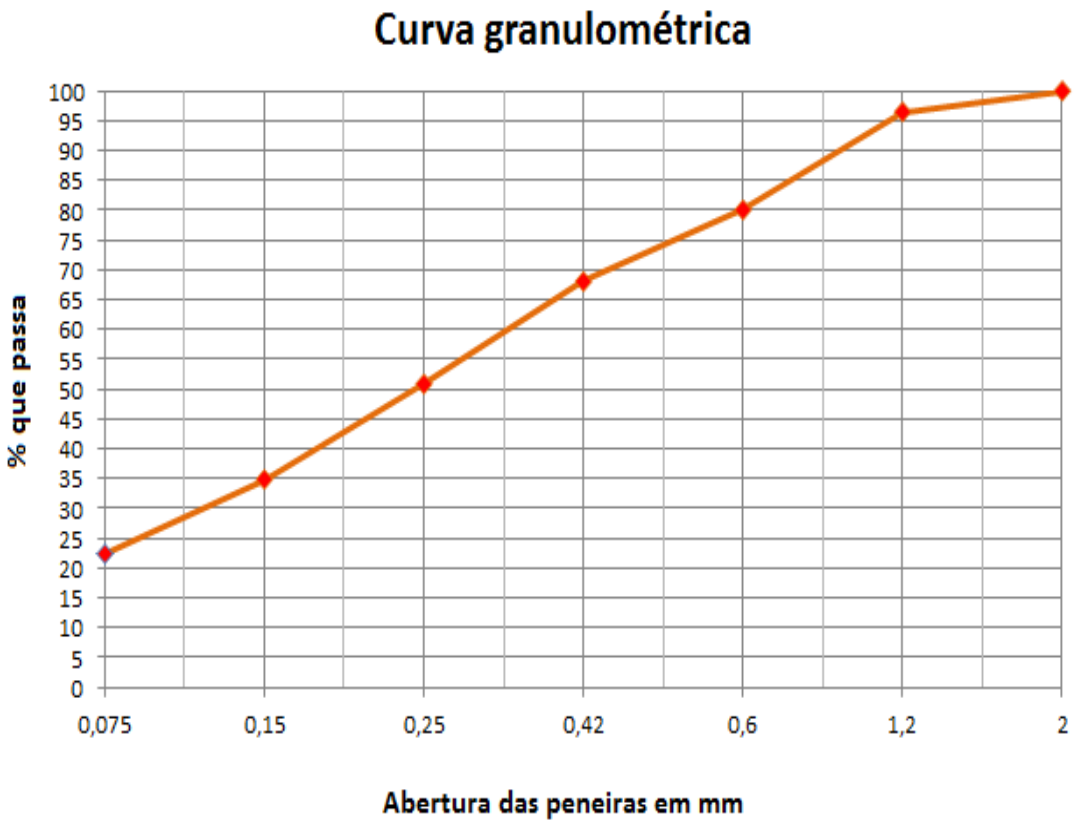


Gráfico 5: Curva Granulométrica

Fonte: Autor

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA %

PEDREGULHO	0 %
AREIA GROSSA	19,94 %
AREIA MÉDIA	29,19 %
AREIA FINA	28,62 %
SILTE + ARGILA	22,24 %

Tabela 8: Composição Granulométrica

A designação baseia-se nas quantidades percentuais das frações presentes no solo **(APÊNDICE C e F),** a partir de 10 %, com a fração dominante primeiramente destacada, obteve-se uma classificação de *SOLO ARENOSO*

Após a análise granulométrica do solo escolhido, verificou-se que o solo está dentro dos parâmetros aceitos na confecção dos tijolos de solo cimento com resultados satisfatórios e dentro dos limites pré-estabelecidos.

4.2.3 Ensaio para determinação da Umidade do solo

De acordo com os ensaios de compactação de solos citados nas NBR-7182 e NBR–6457 realizados no laboratório de mecânica dos solos do Centro Universitário Geraldo Di Biase, obteve-se uma umidade na amostra de 18,5 (%) **(Gráfico 6)** com Massa específica Seca máxima $\gamma_{sMÁX}$ = 1,54g/cm^3 de acordo com os resultados apresentados no **APÊNDICE D**.

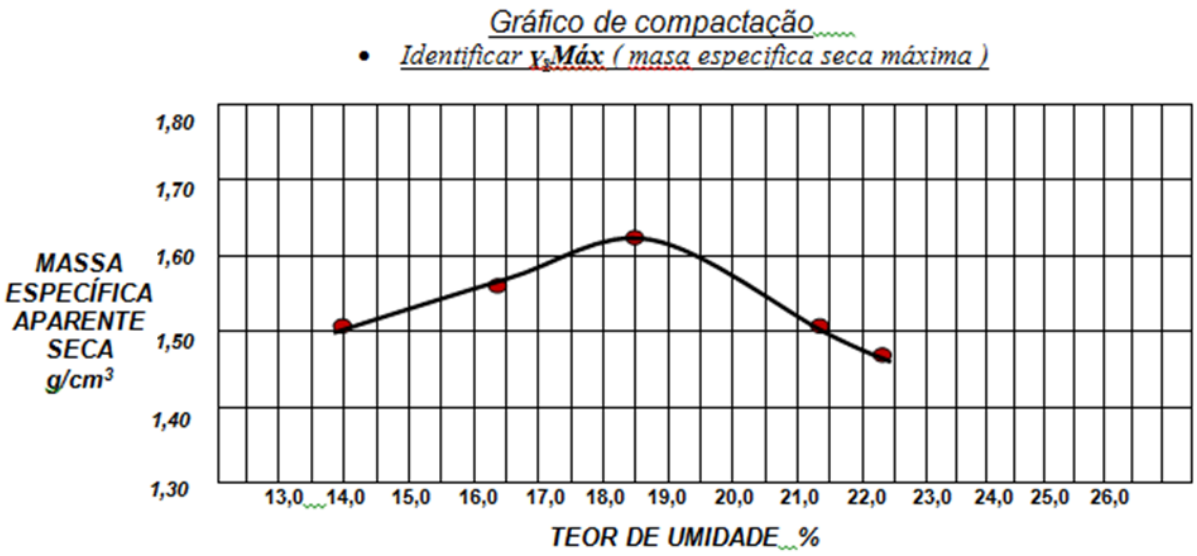


Gráfico 6: Teor de Umidade

Fonte: Autor

4.2.4 Ensaio para determinação do limite de liquidez e de plasticidade

Os relatórios de acompanhamento da determinação do limite de liquidez NBR - 6459 e limite de plasticidade NBR-7180 estão relacionados no **APÊNDICE E**, os resultados do ensaio estão relacionados na **Tabela 9.**

	Limite Calculado	**Resultados Encontrados**
Limite de Liquidez	**LL =** $\frac{49,0 + 42,5 + 48,9 + 51,1 + 60,3}{5} = 50,4$	**(APÊNDICE C)**
Limite de Plasticidade	**LP =** $\frac{31,2 + 30,8 + 30,0 + 29,4 + 30,4}{5} = 30,4$	**CLASSIFICAÇÃO TABELA UNIVERSAL HRB SOLO= entre A-2-7 e A-4 Areia Siltosa Índice de grupo = < 4 (APÊNDICE C)**
Índice de Plasticidade	**I P = LL – LP** **I P = 50,4 – 30,4 = 20,0**	**(APÊNDICE C)**

Tabela 9: Resultado LL e LP

A amostra de solo apresenta limite de liquidez de 50,4 e um limite de plasticidade de 30,4, obtendo-se assim um índice de plasticidade de 20, o que define a amostra de solo apta a ser utilizada na confecção de tijolos de solo cimento.

4.2.5 Amostras Confeccionadas

De acordo com cada traço pré-estabelecido, confeccionou-se uma quantidade de amostras para a realização dos ensaios destrutivos e não destrutivos dos tijolos confeccionados, cada amostra foi devidamente identificada com fita em sua face frontal para evitar que as amostras fossem misturadas, conforme a **figura 55.**

Amostra Padrão

Amostra D1 - 5% de resíduo

Amostra D2 - 10% de resíduo

Amostra D3 - 15% de resíduo

Amostra D4 - 20% de resíduo

Amostra D5 - 25% de resíduo

Amostra NDC - 5% de resíduo (Cimento)

Amostra NDS 01 - 10% de resíduo (Cimento + Solo)

Amostra NDS 02 - 15% de resíduo (Cimento + Solo)

Figura 55: Tijolos após prensagem
Fonte: Autor

4.2.6 Dimensão do tijolo

Por se tratar de um tijolo de solo cimento, as dimensões do tijolo são de fundamental importância para um bom encaixe entre eles. A única dimensão sujeita a variação é a espessura, na qual sofre influência da composição do traço prensado, para esta dimensão também foi utilizada a margem de ±3 mm para obtenção de amostras padronizadas. Os valores apresentados foram obtidos através do valor médio da medição de três unidades **(Gráfico 7),** retiradas aleatoriamente de cada amostra confeccionada , **figura 56**. De acordo com os valores medidos nos ensaios de espessura, as amostras estão dentro do limite pré-estabelecido inicialmente conforme a **Tabela 10.**

Figura 56: Medição da espessura
Fonte: Izabella Valadão

Amostra	Valor médio de 3 amostras	Desvio Padrão
DP	66,5 mm	1,26
D1	67,2 mm	
D2	68,5 mm	
D3	66,5 mm	
D4	68,2 mm	
D5	66,4 mm	
D6	69,3 mm	
D7	69,3 mm	
D8	69,2 mm	

Tabela 10: Espessura média dos Tijolos

$$Es_{méd} = \frac{66,5 + 67,2 + 68,5 + 66,5 + 68,2 + 66,4 + 69,3 + 69,3 + 69,2}{9} = \frac{611,1}{9}$$

$$Es_{méd} = 67,9\ mm$$

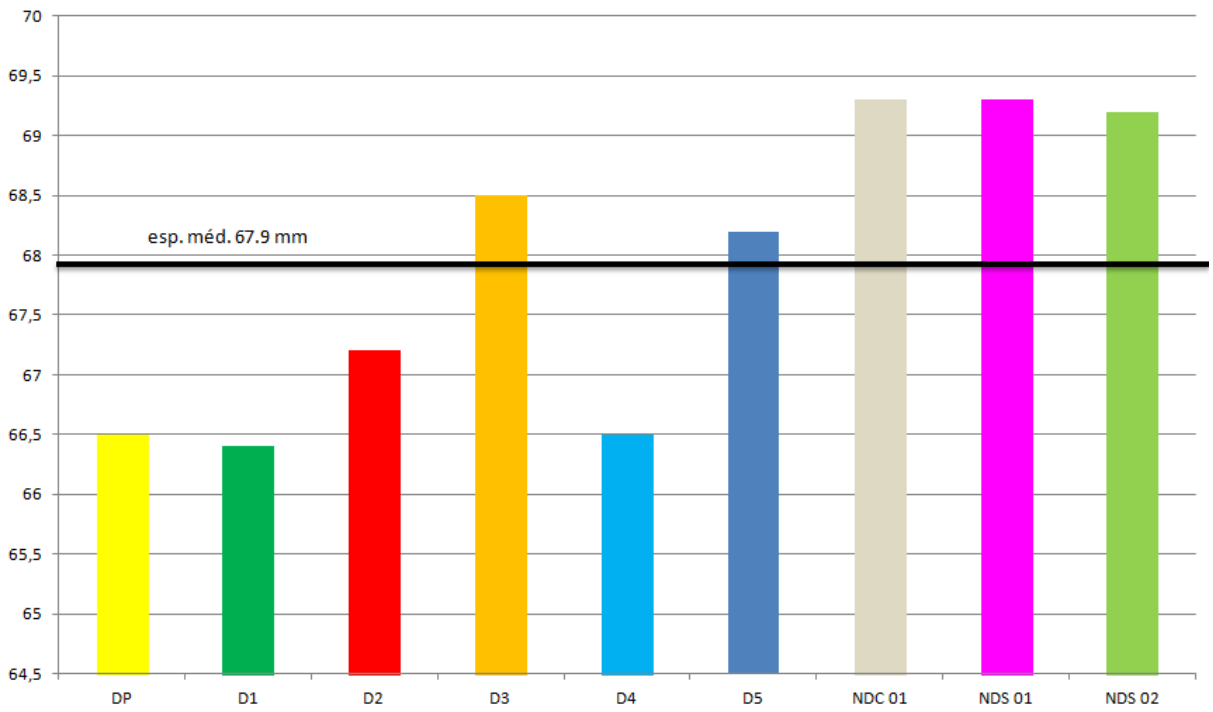


Gráfico 7: Espessura Média dos Tijolos (mm)

Fonte: Autor

4.2.7 Ensaios de Absorção de água das amostras confeccionadas

De acordo com os resultados obtidos no teste de absorção de água, de acordo com a Tabela 11, a única amostra que apresentou um resultado fora da média foi à amostra D2, todavia o resultado não é preocupante, uma vez que, a absorção individual da amostra está perto do limite de 22 %. O restante das amostras está dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR 10836.

Os valores ideais a serem encontrados neste teste são: máxima de 20% (média) e 22% (individualmente), de acordo com a NBR 8492 – Tijolo Maciço de solo cimento – Determinação da resistência a compressão e absorção de água. Métodos de ensaios.

Resultado do Cálculo da Absorção Amostra DP.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3095,0	18,23
	Peso úmido	3659,2	
14 dias	Peso seco	3140,0	20,67
	Peso úmido	3789,1	
21 dias	Peso seco	3010,8	19,50
	Peso úmido	3598,0	
28 dias	Peso seco	3120,0	21,36
	Peso úmido	3786,3	
Somatório			**79,76**

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{79{,}76}{4} =$$

Absorção Média - 19,94 %

Cálculo da Absorção Amostra D1.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3268,7	21,93
	Peso úmido	3985,6	
14 dias	Peso seco	3147,1	18,30
	Peso úmido	3723,0	
21 dias	Peso seco	3959,0	20,46
	Peso úmido	4769,0	
28 dias	Peso seco	3365,2	19,03
	Peso úmido	4005,7	
Somatório			79,72

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{79{,}72}{4} =$$

Absorção Média - 19,93 %

Cálculo da Absorção Amostra D2.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3095,0	22,44
	Peso úmido	3789,6	
14 dias	Peso seco	3140,0	23,10
	Peso úmido	3865,3	
21 dias	Peso seco	3010,8	22,83
	Peso úmido	3698,2	
28 dias	Peso seco	3120,0	21,36
	Peso úmido	3786,3	
Somatório			89,73

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{89{,}73}{4} =$$

Absorção Média - 22,43 %

Cálculo da Absorção Amostra D3.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3160,0	20,46
	Peso úmido	3806,4	
14 dias	Peso seco	3234,0	17,57
	Peso úmido	3802,1	
21 dias	Peso seco	3220,9	17,98
	Peso úmido	3799,9	
28 dias	Peso seco	3120,2	18,53
	Peso úmido	3698,3	
Somatório			74,53

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{74{,}53}{4} =$$

Absorção Média - 18,63 %

Cálculo da Absorção Amostra D4.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	2974,7	21,02
	Peso úmido	3600,1	
14 dias	Peso seco	2982,2	20,86
	Peso úmido	3604,2	
21 dias	Peso seco	3010,0	21,13
	Peso úmido	3646,0	
28 dias	Peso seco	2985,6	20,53
	Peso úmido	3598,6	
Somatório			83,54

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{83{,}54}{4} =$$

Absorção Média - 20,89 %

Cálculo da Absorção Amostra D5.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3187,3	19,60
	Peso úmido	3812,1	
14 dias	Peso seco	3208,5	21,00
	Peso úmido	3882,2	
21 dias	Peso seco	3159,9	21,20
	Peso úmido	3829,7	
28 dias	Peso seco	3089,3	19,49
	Peso úmido	3691,3	
Somatório			81,29

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{81{,}29}{4} =$$

Absorção Média - 20,32 %

Cálculo da Absorção Amostra NDC 01.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3313,6	21,49
	Peso úmido	4025,7	
14 dias	Peso seco	3299,0	20,86
	Peso úmido	3987,3	
21 dias	Peso seco	3300,8	20,00
	Peso úmido	3960,9	
28 dias	Peso seco	3298,6	19,99
	Peso úmido	3958,1	
Somatório			82,34

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{82{,}35}{4} =$$

Absorção Média - 20,59 %

Cálculo da Absorção Amostra NDS 01.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3359,1	19,45
	Peso úmido	4012,3	
14 dias	Peso seco	3388,8	17,82
	Peso úmido	3992,6	
21 dias	Peso seco	3405,1	20,78
	Peso úmido	4112,8	
28 dias	Peso seco	3312,3	22,56
	Peso úmido	4059,7	
Somatório			80,61

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{80{,}61}{4} =$$

Absorção Média - 20,15 %

Cálculo da Absorção Amostra NDS 02.

Nº dias	Pesos (g)	Massas(g)	% absorção
7 dias	Peso seco	3286,2	20,91
	Peso úmido	3973,5	
14 dias	Peso seco	3197,8	21,00
	Peso úmido	3869,3	
21 dias	Peso seco	3200,5	20,16
	Peso úmido	3845,6	
28 dias	Peso seco	3256,5	19,80
	Peso úmido	3901,3	
Somatório			81,87

$$Absorção\ (\%) = \frac{Aam7 + Aam14 + Aam21 + Aam28}{4} = \frac{81{,}87}{4} =$$

Absorção Média - 20,47 %

Tabela 11: Determinação da Absorção de água

4.2.8 Resultados obtidos nos ensaios à compressão.

Após o período de cura as amostras devem ser levadas ao ensaio de compressão que devem ser feitos aos 7, 14, 21 e 28 dias. As amostras foram preparadas retirando-se as ranhuras superiores de sua face, tornando-a lisa. A prensa utilizada para os ensaios de compressão de Marca Contenco, **figura 57**, onde os corpos de prova são centralizados sobre o prato inferior da máquina, garantindo que a aplicação uniforme da carga até o momento de ruptura, **figura 58**.

Com base nos resultados obtidos no rompimento dos corpos de prova da amostra padrão, obteve-se um parâmetro de resistência a compressão dos corpos de prova das demais amostras ensaiadas. De acordo com a NBR 10836 os tijolos que apresentarem resistência à compressão aos 28 dias de ensaio superior ou igual a 1,7 Mpa, podem ser utilizados como materiais de alvenaria não estrutural. Uma vez finalizado os testes de compressão na prensa hidráulica das 8 amostras confeccionadas e ensaiadas apenas as amostras D1(5% de resíduo), D2 (10% de resíduo), NDC 01 (5% de resíduo em relação ao cimento), e NDS 01(10% de resíduo em relação ao solo e ao cimento) apresentam um resultado à compressão igual ou

superior a mencionada na NBR 10836. Os resultados Obtidos nos ensaios estão relacionados na Tabela 12.

Figura 57: Prensa Cotenco
Fonte: Autor

Figura 58: Posicionamento da amostra
Fonte: Autor

Resultado dos Ensaios de Resistência a compressão das Amostras - DP

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,7**	**1,8**	**1,8**	**1,8**	**0,06**
14 dias	**2,0**	**2,0**	**1,9**	**2,0**	**0,06**
21 dias	**2,1**	**2,3**	**2,4**	**2,3**	**0,15**
28 dias	**2,4**	**2,5**	**2,5**	**2,5**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **2,5 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras

D1 - 5% de resíduo (Solo)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,7**	**1,8**	**1,8**	**1,8**	**0,06**
14 dias	**2,0**	**2,0**	**1,9**	**2,0**	**0,06**
21 dias	**2,1**	**2,3**	**2,4**	**2,3**	**0,15**
28 dias	**2,3**	**2,3**	**2,3**	**2,3**	**0,00**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **2,3 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras – D2

10% de resíduo (Solo)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,1**	**1,0**	**1,1**	**1,1**	**0,06**
14 dias	**1,2**	**1,4**	**1,3**	**1,3**	**0,10**
21 dias	**1,4**	**1,5**	**1,4**	**1,5**	**0,06**
28 dias	**1,7**	**1,7**	**1,6**	**1,7**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **1,7 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras – D3

15% de resíduo (Solo)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**0,9**	**0,9**	**0,9**	**0,9**	**0,00**
14 dias	**1,1**	**1,0**	**0,9**	**1,0**	**0,10**
21 dias	**1,2**	**1,1**	**1,3**	**1,1**	**0,10**
28 dias	**1,2**	**1,3**	**1,3**	**1,3**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **1,3 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras – D4

20% de resíduo (Solo)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,1**	**1,0**	**1,1**	**1,1**	**0,06**
14 dias	**1,2**	**1,4**	**1,3**	**1,3**	**0,10**
21 dias	**1,4**	**1,5**	**1,4**	**1,4**	**0,06**
28 dias	**1,5**	**1,5**	**1,6**	**1,5**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **1,5 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras – D5

25% de resíduo (Solo)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,0**	**0,9**	**1,0**	**1,0**	**0,06**
14 dias	**1,3**	**1,4**	**1,4**	**1,4**	**0,06**
21 dias	**1,4**	**1,4**	**1,5**	**1,4**	**0,06**
28 dias	**1,5**	**1,6**	**1,5**	**1,5**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **1,5 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras – NDC 01

5% de resíduo (Cimento)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,7**	**1,6**	**1,7**	**1,7**	**0,06**
14 dias	**1,8**	**1,9**	**1,9**	**1,9**	**0,06**
21 dias	**1,9**	**1,9**	**1,9**	**1,9**	**0,00**
28 dias	**2,0**	**1,9**	**2,0**	**2,0**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **2,0 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras – NDS 01

10% de resíduo (Cimento + Solo)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,7**	**1,7**	**1,7**	**1,7**	**0,00**
14 dias	**2,0**	**1,9**	**1,9**	**1,9**	**0,06**
21 dias	**2,0**	**2,0**	**2,1**	**2,0**	**0,06**
28 dias	**2,0**	**2,1**	**2,1**	**2,1**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **2,1 Mpa**					

Cálculo da Resistência a compressão das Amostras – NDS 02

15% de resíduo (Cimento + Solo)

Nº dias	Resist. Amostra 1 (Mpa)	Resist. Amostra 2 (Mpa)	Resist. Amostra 3 (Mpa)	**Resist. Média (Mpa)**	Desvio padrão
7 dias	**1,3**	**1,6**	**1,4**	**1,4**	**0,15**
14 dias	**1,5**	**1,4**	**1,5**	**1,5**	**0,06**
21 dias	**1,5**	**1,6**	**1,6**	**1,6**	**0,06**
28 dias	**1,7**	**1,6**	**1,6**	**1,6**	**0,06**
$Resist.Média = \frac{A1+A2+A3}{3}$					
Resistência final aos 28 dias - **1,6 Mpa**					

Tabelas 12: Resistência à compressão

Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO

A construção civil possui um impacto direto e significativo sobre o meio ambiente e seus recursos naturais, a utilização de novas técnicas com baixo impacto ambiental tem sido primordial para o avanço de novas tecnologias e novos métodos construtivos, estas novas técnicas e conceitos vem se tornando cada vez mais forte nas soluções ecologicamente aplicáveis à construção civil. Portanto, conclui-se que o solo cimento com adição de resíduos de areia diatomácea é uma boa alternativa construtiva, diminuindo-se assim a degradação do meio ambiente e diminuindo-se os custos globais de uma construção.

A análise da produção do traço correspondente à amostra **D1**, onde a mistura dos componentes está com a adição de apenas 5% de resíduo em relação ao traço completo, foram utilizados 2 litros de resíduo de areia diatomácea em cada traço 1:8 para confeccionar as amostras, na qual se obteve uma média de absorção de 19,93% e uma resistência à compressão de 2,3 Mpa aos 28 dias de cura, com esse modelo de amostra estima-se uma redução de 3% no custo bruto do material usado na confecção dos tijolos, quando comparado com o custo bruto dos materiais usados na amostra padrão, conforme demonstrado no **apêndice G.**

A análise da produção do traço correspondente à amostra **D2**, onde a mistura dos componentes está com 10% de resíduo em relação ao traço completo, foram utilizados 4 litros de resíduo de areia diatomácea em cada traço 1:8 para confeccionar as amostras, na qual se obteve uma média de absorção de 22,43% e uma resistência à compressão de 1,7 Mpa aos 28 dias de cura, com esse modelo de amostra estima-se uma redução de 6% no custo bruto do material usado na confecção dos tijolos, quando se comparado com o custo bruto dos materiais usados na amostra padrão, conforme demonstrado no **apêndice G.** Para a fabricação de 1000 unidades com a dosagem **D2** do tijolo, serão utilizados 288 litros ou 95,04 Kg de resíduos, esta dosagem retira do meio ambiente, 28800 litros ou 9504 Kg de resíduo de areia diatomácea mensais, para uma produção diária de 5000 unidades dos tijolos ecológicos.

A análise da produção do traço correspondente à amostra **NDC 01**, onde a mistura dos componentes está com 5% de resíduo em relação ao volume de

cimento, foram utilizados 0,25 litros de resíduo de areia diatomácea em cada traço 1:8 para confeccionar as amostras, na qual se obteve uma média de absorção de 20,59% e uma resistência à compressão de 2,0 Mpa aos 28 dias de cura, com esse modelo de amostra estima-se uma redução de 2% no custo bruto dos materiais usados na confecção dos tijolos, quando se comparado com o custo bruto dos materiais usados na amostra padrão, conforme demonstrado no **apêndice G.**

A análise da produção do traço correspondente à amostra **NDS 01**, onde a mistura dos componentes está com 10% de resíduo em relação ao volume de cimento e solo, foram utilizados 4 litros de resíduo de areia diatomácea em cada traço 1:8 para confeccionar as amostras, na qual se obteve uma média de absorção de 20,15% e uma resistência à compressão de 2,1 Mpa aos 28 dias de cura, com esse modelo de amostra estima-se uma redução de 3% no custo bruto dos materiais usados na confecção dos tijolos, quando se comparado com o custo bruto dos materiais usados na amostra padrão, conforme demonstrado no **apêndice G.** Para a fabricação de 1000 unidades com a dosagem **NDS 01** do tijolo, serão utilizados 268 litros ou 88,44 Kg de resíduos, esta dosagem retira do meio ambiente, 26800 litros ou 8844 Kg de resíduo de areia diatomácea, para uma produção diária de 5000 unidades dos tijolos ecológicos.

Os ensaios efetuados demonstraram que a adição de areia diatomácea a fabricação de tijolos ecológicos nas amostras D1 (5% de resíduo na substituição do solo), D2 (10% de resíduo na substituição do solo), NDC 01 (5% de resíduo na substituição do cimento) e NDS 01 (10% de resíduo na substituição do solo + cimento), apresentaram resultados satisfatórios na sua utilização como material de fechamento não estrutural em substituição a alvenaria convencional, com resistência acima de 1,7 MPa, conforme recomendado pela norma NBR10834, após o período de 28 dias de cura.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que a utilização dos resíduos de areia diatomácea na composição dos tijolos ecológicos é uma solução adequada para o meio ambiente e aceitável na conjuntura econômica de uma empresa.

6 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Método de ensaio. São Paulo, 1986. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez**. Método de ensaio. São Paulo, 1984. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica**. Método de ensaio. São Paulo, 1984. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade**. Método de ensaio. São Paulo, 1984. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Método de ensaio. São Paulo, 1984. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1986. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, RJ,1996. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento.** Especificação. Rio de Janeiro, RJ, 1994. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d´água.** Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1984. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10833: Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização e prensa hidráulica.** Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1989. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10834: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural.** Especificação. Rio de Janeiro, RJ, 1994. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10835: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões** Padronização. Rio de Janeiro, RJ, 1994. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10836: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água**. Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994. 2p.

ABNT – NBR 12023. **Solo-Cimento – Ensaio de Compactação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1992.

ABNT – NBR 12253. **Solo-Cimento – Dosagem para Emprego como Camada de Pavimento.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1992.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento Portland. Boletim técnico**, 106. 7.ed. São Paulo, 2002. 28 p. São Paulo, 2002. – Acesso 25/04/2015 as 20:15 hs

ARRUDA, Nilton Marlúcio de. **A sustentabilidade como um novo posicionamento na estratégia de comunicação de Empresas Brasileiras**. 139 p. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. ***Dosagem das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio***. Publicações ABCP, 1980, São Paulo.

BARBOSA, Normando Perazzo. **Estabilização granulométrica de solos para confecção de tijolos prensados de terra crua**. In ENTAC, 8º, Salvador, 2000. v. 2p. 1043-1050 il.

BARBOSA, Normando Perazzo: **Tranferência e aperfeiçoamento da tecnologia construtiva com tijolos prensados de terra crua em comunidades carentes.** In Coletânea Habitare, Vol 2 – Inovação, gestão de qualidade & produtividade e Disseminação do conhecimento na construção habitacional, p. 12-39. ANTAC. Porto Alegre – RS – 2003.

CEBRACE - Centro Brasileiro de Construções e Equipamentos Escolares. **Solo cimento na construção de escolas** – SC01. 2ª ed. Rio de Janeiro, MEC/CEBRACE, 1981. 39p. il. (sistemas construtivos 2).

CERATTI, J. A. P. MEDINA ***Estudo de solos estabilizados com cimento sob ação de cargas repetidas e estáticas*.** 18ª Reunião Anual de Pavimentação, Porto Alegre, 1983

FARINA, E. M. M. Q. **Competitividade e coordenação de sistemas agroindustriais: um ensaio conceitual. Gestão & Produção,** v. 6, n. 3, p.147-161, dez., 1999.

FIQUEROLA, V. **Alvenaria solo-cimento**, Revista Téchne, número 85, 2004.

FRANÇA, Fabrício Carlos. **Estabilização Química de Solos para Fins Rodoviários: Estudo de Caso com o Produto** “RBI Grade 81”. 104f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2003.

GIACOMINI FILHO, Gino. Eco propaganda. São Paulo: SENAC, 2004. Meio ambiente e consumismo. São Paulo: SENAC, 2008.

GOMES, José Wilson. **Tijolos de solo-cimento – solução para o problema habitacional de países em desenvolvimento. Adendo complementar ao trabalho, 1980.**

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

GRIMER. F. J.(1957). **The effect of pulverization on the ornality of clay cement.** Proc. Of the Fourth International Conference on soil mechanics on Foundation Engineeering. London

LIMPRASERT, Tawan. Behaviour of soil, **soil-cement and soil-cement-fiber under multiaxial test.** (Thesis). Faculty of the Russ College of Engineering and Technology, Ohio University, 1995.

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

MACEDO. Mirtes Maria de. **Solos modificados com cimento – efeito no módulo de resiliência e no dimensionamento de pavimentos.** Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil, 2004.

MOURA, E. *Estudo* ***comparativo do comportamento do solo-cimento***. São Paulo. Dissertação (mestrado), 2004 – EP USP.

PENHA, J. R. B.; MOREIRA, G. S. S.; BARATA, M. S. **Fabricação de tijolo solo-cimento com substituição parcial do solo natural por resíduo da construção e demolição para construção de casas populares de baixo custo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49, 2007, Bento Gonçalves. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 16 p., 2007.

PERA, J. State. **In: Workshop sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção**, 1996, São Paulo

PIRES, I. B. A. A. **Utilização do Tijolo Ecológico como Solução para Construção de Habitações Populares.** (Monografia). Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Salvador, 2004.

PISANI, M.A.J. ***Execução do tijolo de solo-cimento***. Relatório de Pesquisa: Promoção do Desenvolvimento Sustentável do semiárido da Bahia. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2004.

PRUSHAN, Victor H. **Marketing: 101 segredos do marketing para conquistar e manter clientes.** São Paulo: Futura, 1999.

ROLIM, M. M.; FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Análise comparativa da resistência à compressão simples de corpos de prova, tijolos e painéis de solo-cimento.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 89-92, 1999.

SOUZA, G. P., FILGUEIRA, M., ROSENTHAL, R., HOLANDA, J. N. F.. **Caracterização de material compósito diatomáceo natural**. Cerâmica, 49, 40-43, 2003.

SUPERTOR – **Máquinas e tecnologia em solo-cimento – Tijolos sem queima**. [1984], Brasil

SUPERTOR. **O tijolo de solo cimento**. Catálogo de divulgação tecnológica.

TARTUCE, Ronaldo, **Princípios Básicos sobre concreto de Cimento Portland**. Ed. Pini, São Paulo (SP), Brasil , 1990.

CANCELLARA, William R. **Introdução à filtração de cervejas Os auxiliares filtrantes.** Revista e Portal Meio Filtrante. Disponível em: <http://www.meiofiltrante.com.br/materias>. Acesso em: 01 mai. 2015.

CONSTRUVAN. Tijolos Ecológicos. Disponível em: <http://www.construvan.com.br>. Acesso: 10 de Maio, 2015.

http://afrebras.org.br/setor/cerveja/composicao-de-mercado-cerveja/ acesso em 12/05/2015-22:00

http://www.recriarcomvoce.com.br/ - ACESSO EM 09/05/2015 – 23:20

http://cervbrasil.org.br/2014/04/a-cerveja-como-contribuicao-economica/ acesso em 12/05/2015 - 22:40

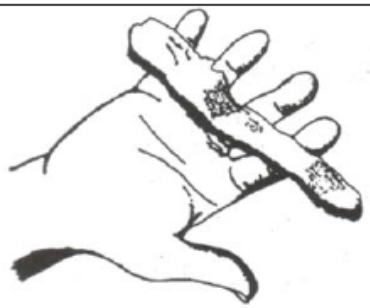
http://epocanegocios.globo.com/Informacao/Resultados/noticia/2014/08/6-curiosidades-sobre-industria-cervejeira-do-brasil.html: acesso em 21/04/2015-19:48

APÊNDICE A

ENSAIOS EXPEDITOS

Os ensaios expeditos propostos por Taveira (1987) e pelo CEPED (1999), são apenas de caráter qualitativo, não sendo possível a determinação de valores quantitativos. Porém, para uma avaliação preliminar são bastante úteis, sendo, portanto descritos a seguir.

Ensaio da Fita.



Tomar uma porção de solo, com a mesma umidade do ensaio do cordão, e fazer um cilindro do tamanho de um cigarro. Amassar este cilindro até formar uma fita, com 3 a 6 mm de espessura e com o maior comprimento possível.

- Fita longa: 25 a 30 cm sem dificuldade

- Fita curta: 5 a 10 cm com dificuldade.

FIGURA Ap-A1 – Ensaio da fita
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ensaio do Cordão

Tomar uma porção de solo seco e juntar água rolando cordões até que os mesmos comecem a se quebrar com um diâmetro de 3 mm.

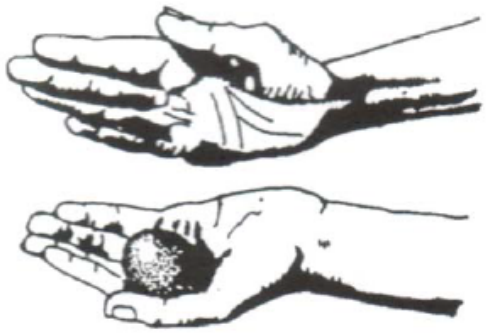
Com os cordões quebrados, formar uma bola mantendo essa umidade. Esmagar a bola entre o polegar e o indicador verificando a força necessária para esmagá-la.

FIGURA Ap-A2 – Ensaio do cordão
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

- Cordão duro: só se pode quebrar a bola com muito esforço.
- Cordão mole: a bola se fissura ou esmigalha com pouco esforço.
- Cordão frágil: não é possível reconstituir a bola sem que ela se fissure ou esmigalhe.

FIGURA Ap-A3 – Ensaio do cordão
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ensaio do Bolo



Tomar uma porção de solo bastante úmida e colocá-la na palma da mão. Golpear esta bola com a outra mão de modo que uma película de água aflore na superfície da amostra, dando-lhe um aspecto liso e brilhante. Pressionar então o bolo com os dedos.

- Reação rápida: Bastam 5 a 10 golpes para que a água aflore à superfície da amostra, sendo que a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo.
- Reação lenta: São necessários 20 a 30 golpes para que a água aflore; a pressão dos dedos faz com que o bolo se deforme como uma bola de borracha.

FIGURA Ap-A4 – Ensaio do bolo
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

O QUADRO Ap-A1 mostrado a seguir complementa a interpretação dos resultados obtidos nos ensaios do cordão, da fita, de resistência seca e do bolo.

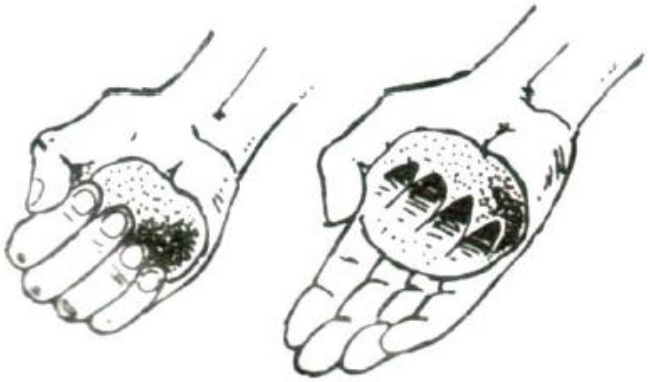
QUADRO Ap-A1
Interpretação dos ensaios expeditos do solo

Ensaio do cordão	Ensaio da fita	Ensaio do bolo	Resistência seca	Tipo do solo	Possibilidade de utilização
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Reação rápida a lenta, mas jamais muito lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Areias finas, areias finas siltosas, areias finas argilosas, siltes argilosos	Solo prensado para tijolos, adobes com cimento, terra compactada com ou sem cimento; quando muito arenosos, juntar solos finos, siltes e argilas
Cordão frágil a semi-duro	Fita curta	Reação lenta a muito lenta	Fraca a média	Siltes	Utilização mais difícil que os solos anteriores, mas possível com o uso de cimento
Cordão semi-duro	Fitas curtas a longas	Reação muito lenta ou não tem reação	Média a grande	Argilas com pedregulhos, argilas com areia e argilas siltosas	Possível de usar apenas para a terra compactada ou tijolo prensado, com cimento
Cordão duro	Fitas longas	Não tem reação	Grande	Argilosos	Não deve ser usado

Fonte: modificado de CEPED, 1999.

Ensaio para determinação da umidade ótima em campo (hand test)

Tomar uma porção de solo umedecido nas mãos, apertando-o entre os dedos de forma que ao abrir a mão, a massa tenha adquirido a sua forma (fique a marca dos dedos).



Se a marca dos dedos ficar bem definida, a umidade é adequada. Caso a marca não ocorra ou se houver esfarelamento, significa que o solo pode estar muito seco e a umidade é insuficiente. Se a marca aparecer muito compacta e molhada – mais do que úmida – então a umidade é excessiva.

FIGURA Ap-A5 – Hand test
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

Ensaio para determinação da umidade ótima (teste da bola de solo)

Tomar uma porção de solo umedecido nas mãos prensando-o até fazer uma bola com ele. Em seguida, deixe a bola de massa cair de uma altura de aproximadamente 1,0 m em um chão firme. Ao chocar-se com qualquer superfície dura, o bolo deverá esfarelar indicando assim um teor de umidade adequado.

Caso contrário, se a bola não esfarelar, é sinal de que a umidade é excessiva. Neste caso, há necessidade de secar a amostra ou então acrescentar solo e cimento em suas devidas proporções, repetindo assim o ensaio. A umidade é considerada insuficiente caso não se consiga formar o bolo na mão.

FIGURA Ap-A6 – Hand test
Fonte: modificado de TAVEIRA, 1987 e CEPED, 1999.

APÊNDICE B

EQUIPAMENTOS E APARELHAGEM PARA A CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Para a classificação e caracterização dos solos estudados foram utilizados os equipamentos e aparelhagem especificados pelas normas. Este capítulo mostra alguns dos equipamentos e aparelhos utilizados, bem como sua utilização no desenvolvimento do trabalho em questão.

FIGURA Ap-B1 – Almofariz e mão de gral

cápsulas de porcelana

Figura Ap- B2 – Materiais de uso comum

Figura Ap- B3 – Aparelho de casa Grande

Figura Ap- B4 – Vidrarias

APÊNDICE C

Classificação HRB (Highway Research Board)

É a classificação tradicionalmente mais empregada na caracterização de solos para uso em estradas

Critérios baseados na granulometria e plasticidade:

- Menos de 35% de material passando pela #200: solo é classificado como material granular; compreendem os grupos A-1, A-2 e A-3.
- Mais de 35% de solos passando pela #200: solo é classificado como material argiloso ou siltoso; compreendem os grupos A-4, A-5, A-6 e A-7.

Para a classificação devem ser realizados os ensaios de granulometria por peneiramento e limites de liquidez e de plasticidade. Deve também ser determinado o índice de grupo IG. De posse desses dados consulta-se a tabela de classificação HRB, sempre da esquerda para a direita.

IG = 0,2 a + 0,005 a c + 0,01 b d

Onde:

a = % de material que passa pela #200 menos 35; se % > 75 adota-se a = 40; se % < 35, adota-se a = 0 (a varia de 0 a 40)

b = % de material que passa pela #200 menos 15; se % > 55 adota-se b = 40; se % < 15, adota-se b = 0 (b varia de 0 a 40)

c = valor do LL menos 40; se LL > 60% adota-se c = 20; se LL < 40% adota-se c = 0 (c varia de 0 a 20)

d = valor do índice de plasticidade menos 10; se IP > 30% adota-se d = 20; se IP < 10% adota-se d = 0 (d varia de 0 a 20)

IG é um número inteiro variando de 0 a 20 e define a capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento. Quanto menor IG melhor será o solo. IG = 0 indica material excelente e IG = 20 indica péssimo material para subleito.

Tabela para classificação de solos HRB

Classificação Geral	Materiais Granulares (35% ou menos passando pela peneira nº200)							Materiais Siltosos e Argilosos (mais de 35% passando pela peneira nº200)			
Grupos	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Porcentagem que passa nas peneiras de abertura nominal 2,00 mm 0,42 mm 0,074 mm	 50 máx 30 máx 15 máx	 50 máx 25 máx	 51 mín 10 máx	 35 máx	 35 máx	 35 máx	 35 máx	 36 mín	 36 mín	 36 mín	 36 mín
Características da fração que passa na peneira 0,42 mm Limite de Liquidez (%) Índice de Plasticidade (%)	 - 6 máx	 - 6 máx	 - NP	 40 máx 10 máx	 41 mín 10 máx	 40 máx 11 mín	 41 mín 11 mín	 40 máx 10 máx	 41 mín 10 máx	 40 máx 11 mín	 41 mín 11 mín
Índice de Grupo (IG)	0	0	0	0	0	< 4	< 4	< 8	< 12	< 16	< 20
Materiais predominantes	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Regular a mau			

Caso o solo se enquadre no grupo A-7, deve-se verificar se ele pertence ao subgrupo A-7-5 ou A-7-6.

Se IP ≤ LL - 30 : solo pertence ao subgrupo A-7-5

Se IP > LL - 30 : solo pertence ao subgrupo A-7

APÊNDICE D

Laboratório de Mecânica dos solos

Compactação de solos NBR-7182 – NBR - 6457

Procedimentos

Cilindro n^0: 01 . Peso do cilindro: 2443,3 (g). Diâmetro do cilindro 10,0(cm).

Altura útil do cilindro: 12,73(cm). Volume do cilindro: 999,8(cm^3). (solo coletado)

/	DADOS DAS AMOSTRAS	AM 01	AM 02	AM 03	AM 04	AM 05
(1)	Peso do cilindro + solo úmido (g)	4175,6	4277,0	4352,7	4280,0	4255,0
(2)	Peso do solo úmido (g)	1732,3	1833,7	1909,4	1836,7	1811,7
(3)	Massa Especifica Ap. úmida (g/cm^3)	1,73	18,3	1,91	1,83	1,81
(4)	Cápsula n^o	17	18	19	20	21
(5)	Peso da cápsula + solo úmido (g)	75,3	73,2	75,5	74,8	75,0
(6)	Peso da cápsula + solo seco (g)	70,3	67,7	69,2	67,6	67,7
(7)	Peso da cápsula (g)	35,0	34,2	35,1	33,9	35,2
(8)	Peso da água (g) (5) – (6)	5,0	5,5	6,3	7,2	7,3
(9)	Peso do solo seco (g) (6) – (7)	35,3	33,5	34,1	33,7	32,5
(10)	Teor de umidade (%) (8) / (9) x 100	14,1	16,4	18,5	21,3	22,4
(11)	FC 100/(100 + teor de umidade)	0,8764	0,8691	0,8438	0,8244	0,8169
(12)	Massa Especifica Ap. seca (g/cm^3) (3) x 100 / 100 + (10)	1,51	1,57	1,61	1,51	1,48

TIPO DE PROCTOR: *NORMAL*. ***UMIDADE ÓTIMA:*** *18,5* ***(%).***

Massa esp. Seca máxima $\gamma_{sMÁX}$ = 1,54 g/cm^3.

Tabela: Resultado Proctor Normal

APÊNDICE E

Ensaio para determinação do Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

Laboratório de Mecânica dos Solos

RELATÓRIO DE ACOMPANHAMENTO DA DETERMINAÇÃO DO LIMITE DE LIQUIDEZ NBR-6459 E LIMITE DE PLASTICIDADE NBR-7180

Retirar o material restante da concha, colocando-o novamente no recipiente.

Limpar a concha e secar.

Adicionar maior quantidade de água à massa de solo e repetir o procedimento pelo menos 5 vezes.

1. **nº de golpes 68 teor de umidade 40,0**
2. **nº de golpes 45 teor de umidade 42,5**
3. **nº de golpes 31 teor de umidade 48,9**
4. **nº de golpes 23 teor de umidade 51,1**
5. **nº de golpes 19 teor de umidade 60,3**

CÁLCULO:

Calcular peso do solo seco usando o Speedy

(calcular primeiro o **FC - 100/(100+h**)

Fc x o peso do solo úmido = **peso do solo seco**

Solo úmido= **10,0**

Teor de umidade do speedy = **19%**

Fc= 100/ (100+19) = **0,8403361**

Fc x peso úmido = 8,40 (peso do solo seco)

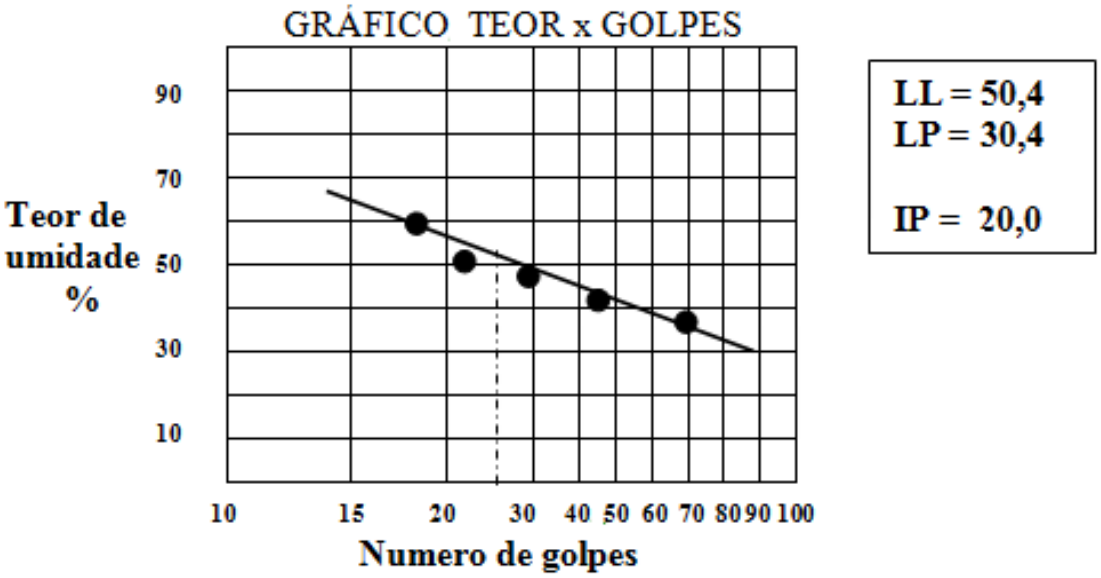


Gráfico: Teor de Umidade x Golpes

INDICE DE PLASTICIDADE DA AMOSTRA DE SOLO

IP- É o intervalo entre o teor de umidade correspondente ao LL e ao LP

50,4 LL _____ IP=LL-LP _____ LP 30,4

IP 20,0

LIMITE DE LIQUIDEZ
CÁLCULO DO TEOR DE UMIDADE:

AMOSTRA 01 (LL) Nº de golpes 68 **Wc=**Peso cápsula vazia **= 12,2** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **= 19,3** **W2=**Peso cápsula + solo seco **= 17,3** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 2,5** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 5,1** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 49,0**%	**AMOSTRA 02 (LL) Nº de golpes 45** **Wc=**Peso cápsula vazia **= 11,8** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **= 17,5** **W2=**Peso cápsula + solo seco = **15,8** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2)= 1,7** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 4,0** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 42,5** %
AMOSTRA 03 (LL) Nº de golpes 31 **Wc=**Peso cápsula vazia **= 12,4** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **= 19,4** **W2=**Peso cápsula + solo seco **= 17,1** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 2,3** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc)= 4,7** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 48,9** %	**AMOSTRA 04 (LL) Nº de golpes 23** **Wc=**Peso cápsula vazia **= 12,0** **W1=**Peso cápsula + solo úmido = **18,5** **W2=**Peso cápsula + solo seco **= 16,3** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 2,2** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 4,3** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 51,1**%
AMOSTRA 05 (LL) Nº de golpes 19 **Wc=**Peso cápsula vazia **= 12,1** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **= 20,6** **W2=**Peso cápsula + solo seco **= 17,4** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 3,2** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 5,3** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 60,3** %	

Tabela: Limite de Liquidez e Teor de Umidade

LIMITE DE PLASTICIDADE

CÁLCULO DO TEOR DE UMIDADE:

AMOSTRA 01 (LP) **Wc=**Peso cápsula vazia **11,0** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **13,1** **W2=**Peso cápsula + solo seco **12,6** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 0,5** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 1,6** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 31,2** %	**AMOSTRA 02 (LP)** **Wc=**Peso cápsula vazia **10,2** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **13,6** **W2=**Peso cápsula + solo seco **12,8** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 0,8** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 2,6** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 30,8**%
AMOSTRA 03 (LP) **Wc=**Peso cápsula vazia **11,3** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **13,9** **W2=**Peso cápsula + solo seco **13,3** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 0,6** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 2,0** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 =30,0** %	**AMOSTRA 04 (LP)** **Wc=**Peso cápsula vazia **11,0** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **13,2** **W2=**Peso cápsula + solo seco **12,7** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2) = 0,5** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 1,7** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 29,4** %
AMOSTRA 05 (LP) **Wc=**Peso cápsula vazia **10,7** **W1=**Peso cápsula + solo úmido **13,7** **W2=**Peso cápsula + solo seco **13,0** **Ww=**Peso da água **(W1 – W2)= 0,7** **Ws=**Peso do solo seco **(W2 – Wc) = 2,3** **W=**Teor de umidade **(Ww / Ws) x 100 = 30,4** %	**LP =** $\frac{31,2 + 30,8 + 30,0 + 29,4 + 30,4}{5}$ = 30,4 **LP= 30,4** **CLASSIFICAÇÃO** **TABELA UNIVERSAL HRB** **SOLO= entre A-2-7 e A-4** **Areia Siltosa** **Índice de grupo = < 4**

Tabela : Limite de Plasticidade e Teor de Umidade

APÊNDICE F

Laboratório de Mecânica dos Solos
ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DE SOLOS NBR- 7181

Objetivo: Determinar a porcentagem em peso de partículas representativas da massa total ensaiada e com os resultados construir a curva de distribuição granulométrica, que é importante para a classificação dos solos.

PREPARAÇÃO DA AMOSTRA:

1 - Do material seco ao ar, separar uma quantidade representativa de material e determinar sua umidade.

2 - Passar a amostra na peneira 10 (2.0mm).

3 - Do material que passar, separar 03 porções

- 20g para a determinação do peso especifico real

- 50 g para sedimentação

- 200g para o peneiramento fino

Para a determinação da distribuição granulométrica do material apenas por peneiramento. Material que passa na peneira 10 lavar na peneira 0,075 (200) para a eliminação de material fino aderente. Secar a amostra em estufa a 105 graus por 24 horas. Pela diferença do peso inicial e o peso final, calcular o material que passou na peneira 0,075 durante a lavagem do solo.

Passar este material na série de peneiras 2,0 - 1,2 – 0,6 – 0,42 – 0,25 – 0,15 – 0,075 mm

Pesar as frações retidas em cada peneira. **P. retido / P.total x 100 = % retida**

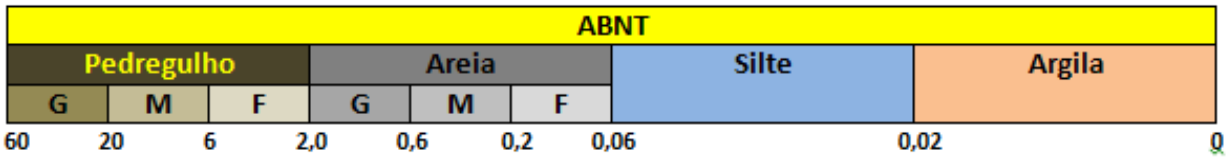
P. I. = 300,00 g

P.F. = 240,00 g

P. P. 0,075 = 60,00 g

Peneira #N	Pen. (mm)	Pen. vazia (g)	Peneira + material retido (g)	Material retido(g)	% Retida	% Acum.	%Passada
10	*2,0*	500,20	500,20	0	0	0	100,00
16	*1,20*	486,77	497,27	10,5	3,50	3,50	96,50
30	*0,60*	416,50	465,80	49,3	16,44	19,95	80,05
40	*0.42*	412,30	448,30	36,0	12,00	31,95	68,05
60	*0.250*	404,30	455,80	51,5	17,17	49,13	50,87
100	*0.150*	410,90	458,90	48,0	16,01	65,14	34,86
200	*0.075*	331,70	369,50	37,8	12,61	77,75	22,25
Fundo+PP	--	429,60	496,30	66,7	22,25	100,00	0,00
Totais	--			299,8	100,00	100,00	0,00

Tabela: Granulometria do solo



DADOS PARA O GRÁFICO

x	PENEIRA mm	% QUE PASSA
Pedregulho	2,00	100,00
Areia Grossa	1,20	96,50
Areia Grossa	0,60	80,05
Areia Média	0,42	68,05
Areia Média	0,25	50,87
Areia Fina	0,15	34,86
Areia Fina	0,075	22,25
Silte	0,06	0,00
Silte	0,002	0,00
Argila		0,00

APÊNDICE G

Análise Econômica das amostras

Amostra	DP	D1	D2	NDC 01	NDS 01
Cimento	5 litros	5 litros	5 litros	4,75 litros	5,5 litros
Solo	40 litros	38 litros	36 litros	40 litros	40 litros
Resíduo	-	2 litros	4 litros	0,25 litros	4 litros
Água	4 litros	4 litros	4 litros	4,6 litros	5,1 litros
Absorção	19,94 %	19,93 %	22,43 %	20,59 %	20,15 %
Resist. Comp.	2,5 Mpa	2,3 Mpa	1,7 Mpa	2,0 Mpa	2,1 Mpa

Para cada traço feito obteve-se em média 14 unidades de tijolos, nos traços **DP, D1, D2 e NDC 01.**

Os valores apresentados são de acordo com o preço no varejo.

Para 1000 unidades temos:

$$\frac{1000}{14} = 71,42 = 72 \text{ traços}$$

Amostra - DP	Quant.	Quant./un.	Preço/un.	Preço Total
Cimento	360 Kg	7,2 sc	R$ 20,00	R$ 144,00
Solo	2880 litros	2,88 m³	R$ 72,00	R$ 207,36
Resíduo	-	-	-	-
Água	288 litros	0,29 m³	R$ 3,00	R$ 0,86
				R$ 352,22

Amostra – D1	Quant.	Quant./un.	Preço/un.	Preço Total
Cimento	360 Kg	7,2 sc	R$ 20,00	R$ 144,00
Solo	2736 litros	2,74 m³	R$ 72,00	R$ 196,99
Resíduo	144 litros	-	-	-
Água	288 litros	0,29 m³	R$ 3,00	R$ 0,86
				R$ 341,85
Redução de 3%				

Amostra – D2	Quant.	Quant./un.	Preço/un.	Preço Total
Cimento	360 Kg	7,2 sc	R$ 20,00	R$ 144,00
Solo	2592 litros	2,59 m³	R$ 72,00	R$ 186,62
Resíduo	288 litros	-	-	-
Água	288 litros	0,29 m³	R$ 3,00	R$ 0,86
				R$ 331,48
Redução de 6%				

Amostra – NDC 01	Quant.	Quant./un.	Preço/un.	Preço Total
Cimento	342 Kg	6,84 sc	R$ 20,00	R$ 136,80
Solo	2880 litros	2,88 m³	R$ 72,00	R$ 207,36
Resíduo	18 litros	-	-	-
Água	331 litros	0,31 m³	R$ 3,00	R$ 0,99
				R$ 345,15
Redução de 2%				

Para a dosagem da amostra NDS 01, obteve-se 15 unidades por traço.

Para 1000 unidades temos:

$$\frac{1000}{15} = 66,67 = 67 \text{ traços}$$

Amostra – NDS 01	Quant.	Quant./un.	Preço/un.	Preço Total
Cimento	368,15 Kg	7,37 sc	R$ 20,00	R$ 147,40
Solo	2680 litros	2,68 m³	R$ 72,00	R$ 192,96
Resíduo	268 litros	-	-	-
Água	341,7 litros	0,34 m³	R$ 3,00	R$ 1,03
				R$ 341,40
Redução de 3%				

Cálculo da média de absorção da areia diatomácea.

Massa específica seca de 140 a 200 kg/m³

Massa específica úmida de 280 a 340 kg/m³.

$$\boldsymbol{Média} = \frac{\mathbf{280 + 340}}{\mathbf{2}} = \mathbf{310\ kg/m^3}$$

Tabela de variação.

Intervalo	Absorção de material	
140 a 280 kg/m³	$\boldsymbol{Absorção} = \frac{\mathbf{280 - 140}}{\mathbf{140}} * \mathbf{100} = \mathbf{100}\ \%$	**100%**
140 a 310 kg/m³	$\boldsymbol{Absorção} = \frac{\mathbf{310 - 140}}{\mathbf{140}} * \mathbf{100} = \mathbf{121,43}\ \%$	**121,43%**
140 a 340 kg/m³	$\boldsymbol{Absorção} = \frac{\mathbf{340 - 140}}{\mathbf{140}} * \mathbf{100} = \mathbf{142,86}\ \%$	**142,86%**
200 a 280 kg/m³	$\boldsymbol{Absorção} = \frac{\mathbf{280 - 200}}{\mathbf{200}} * \mathbf{100} = \mathbf{40}\ \%$	**40%**
200 a 310 kg/m³	$\boldsymbol{Absorção} = \frac{\mathbf{310 - 200}}{\mathbf{200}} * \mathbf{100} = \mathbf{55}\ \%$	**55%**
200 a 340 kg/m³	$\boldsymbol{Absorção} = \frac{\mathbf{340 - 200}}{\mathbf{200}} * \mathbf{100} = \mathbf{70}\ \%$	**70%**

$$\boldsymbol{Média\ de\ absorção} = \frac{\mathbf{100 + 121,43 + 142,86 + 40 + 55 + 70}}{\mathbf{6}} = \mathbf{88,21}\%$$

Determinação do volume de massa seca.

Volume de resíduo gerado no ano de 2014.

O resíduo de areia diatomácea é produzido a uma quantidade na ordem de 1,7 Kg/hl de cerveja fabricada

V úm= 240 975 000 Kg de massa úmida

Absorção média da areia de 80%.

$$\boldsymbol{Vol\ seco} = \frac{\mathbf{240\ 975\ 000}}{\mathbf{1,80}} = \mathbf{133\ 875\ 000\ kg}$$

Massa de resíduo utilizada na confecção de 1000 tijolos.

Massa especifica aparente de 330 kg/m³ ou 0,33 g/cm³.

Dosagem D2

Volume utilizado de 288 litros equivale a 95,04 kg.

Milheiros a produzir.

$$\boldsymbol{Milheiros = \frac{133\ 875\ 000}{95,04} = 1\ 408\ 617/\ ano}$$

$$\boldsymbol{Milheiros = \frac{1\ 408\ 617}{12} = 117\ 385/mês}$$

Dosagem NDS 01

Volume utilizado de 268 litros equivale a 88,44 kg.

Milheiros a produzir.

$$\boldsymbol{Milheiros = \frac{133\ 875\ 000}{88,44} = 1\ 513\ 738/\ ano}$$

$$\boldsymbol{Milheiros = \frac{1\ 513\ 738}{12} = 126\ 145/mês}$$