

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CAROLINA PEREIRA DA SILVA  
RENATA LEAL SALDANHA  
TAMIRIS DÉLIS BATISTA SILVÉRIO**

**DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS UTILIZANDO  
AREIA DE FUNDIÇÃO COMO UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO EM  
UM SISTEMA MODULAR**

**VOLTA REDONDA**

**2017**

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS ECOLÓGICOS UTILIZANDO  
AREIA DE FUNDIÇÃO COMO UMA PROPOSTA DE APLICAÇÃO EM  
UM SISTEMA MODULAR**

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Civil do UniFOA como requisito  
à obtenção do título de bacharel em  
Engenharia Civil

Alunas:

Carolina Pereira Da Silva

Renata Leal Saldanha

Tamiris Délis Batista Silvério

Orientador:

Prof. Msc. Joice Andrade de Araújo

Coorientador:

Prof. Especialista Luigi Walter Andrichi

**VOLTA REDONDA**

**2017**

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Alunas:

Carolina Pereira da Silva

Renata Leal Saldanha

Tamiris Délis Batista

Título do trabalho:

Desenvolvimento de tijolos ecológicos utilizando areia de fundição como uma proposta de aplicação em um sistema modular

Orientador:

Joice Andrade de Araújo

Banca Examinadora:

---

Prof.

---

Prof.

---

Prof.

## DEDICATÓRIA

Dedicamos esta, bem como todas as nossas demais conquistas aos nossos queridos pais. “O homem não é nada além daquilo que a educação faz dele.” Immanuel Kant

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus acima de tudo. Aos pais, familiares e amigos por todo apoio, carinho e incentivo a nunca nos deixarem desistir. Agradecemos também a todos os nossos professores, em especial a Prof<sup>a</sup> e Orientadora M.Sc. Joice Andrade de Araújo por toda paciência e dedicação para com o nosso projeto.

## RESUMO

A preservação do meio ambiente e a geração de resíduos sólidos vem sendo um dos maiores desafios do mundo atual. Os resíduos sólidos acabaram tornando-se um grande problema nas cidades com o seu descarte e manejo inadequado. O presente trabalho consiste em uma pesquisa experimental, cujo objetivo é analisar a eficiência e a viabilidade da produção de tijolos ecológicos com a inserção de areia de fundição como uma alternativa de reciclagem e mostrar o emprego dos tijolos no sistema construtivo modular. Para a confecção dos tijolos, foram estudados e analisados três traços de solo, areia de fundição e cimento. A princípio foram realizados ensaios para a caracterização dos materiais pré-cursors. Após os ensaios foram confeccionados corpos de prova com traços de A0, A1 e A2 que serão especificados no decorrer do trabalho. Depois de pronto os corpos de prova foram levados a cura por imersão e os ensaios de resistência à compressão foram realizados com a idade 14,21 e 28 dias. Com base nos resultados obtidos nos ensaios de compressão e caracterização dos materiais, observou-se que os materiais pré-cursors estudados apresentaram as características necessárias para a produção dos tijolos ecológicos. Esta pesquisa permite relacionar a fabricação de tijolos ecológicos com o sistema construtivo modular, ou seja, mostrar o tijolo solo cimento sendo empregado em construções com suas vantagens e desvantagens.

Palavras chave: Areia de fundição. Resíduo. Solo-cimento. Sistema construtivo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produto macho e fêmea.....	21
Figura 2 –Triângulo textural (TT) com as 13 classes texturais.....	27
Figura 3 - Planta Arquitetônica.....	33
Figura 4 - Fundação tipo radier concretada.....	34
Figura 5 - a) Radier em processo de Impermeabilização b)Impermeabilização sobre o radier.....	35
Figura 6–Modulação.....	36
Figura 7 - Primeira fiada de tijolos.....	37
Figura 8 - Espaçamento dos tijolos.....	37
Figura 9 - Aplicação da cola PVA.....	38
Figura10 - Planta de independência de paredes.....	39
Figura 11 - Planta de Localização dos Grautes, Portas e Janelas.....	41
Figura 12 - Legenda.....	42
Figura 13- Preenchimento da Coluna.....	42
Figura 14 - Interligação da coluna.....	43
Figura 15 - a) Canos de Hidráulica b) Tomadas e interruptores.....	43
Figura 16 - Tijolo Canaleta.....	44
Figura 17 - a) e b) Isolamento do furo.....	45
Figura 18 - Laje com Lajota.....	46
Figura 19 - a) e b) Concretagem da laje.....	46
Figura 20 -a) Muros de arrimo e barragens b) Paredes, tijolos, blocos e painéis.....	50
Figura 21: a)Lareira feita utilizando terra como matéria prima b) Interior de uma edificação construída com técnica de terra crua c) Edificação construída com a utilização de técnica construtiva de terra crua d) Pisos prensados intertravados.....	51
Figura 22 - Fluxograma do processo produtivo.....	53
Figura 23 - a) Rodovia dos Metalúrgicos Volta Redonda b) Areia de Fundição.....	53
Figura 24 - a) Solo seco b) Solo destorroado.....	54
Figura 25 - a) Conjunto de Peneiras b) Balança Analítica.....	55
Figura 26 - a) Recipiente vazio b) Recipiente cheio.....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 27 - a) Aparelho Casagrande b) Amostra na concha c) Amostra com a ranhura.....	58
Figura 28 - a) Solo em forma cilíndrica b) Gabarito.....	59
Figura 29 – Solo no recipiente .....	60
Figura 30 - a) Preparação da mistura b) Teste do torrão c) Mistura e Confecção dos corpos de prova d) Molde para corpo de prova cilíndrico.....	62
Figura 31 - Compactação dos corpos de prova.....	65
Figura 32 - (a) Corpos de prova com traço A0 b) Corpos de prova com traço A1 c) Corpos de prova com traço A2 d) Corpos de prova imergidos e) Corpos de prova lacrados.....	67
Figura 33 – Prensa Hidráulica.....	67
Figura 34 - Ensaio de Retração Linear dos Traços Solo, A0, A1 e A2 após secagem de 7 dias.....	74
Figura 35 - Ferramenta utilizada para compactação.....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações da Areia de Fundição.....	23
Tabela 2 – Informações técnicas do Cimento Portland.....	28
Tabela 3 – Aplicações do solo-cimento.....	49
Tabela 4 - Traço do tijolo de solo/cimento.....	63
Tabela 5 - Limite das frações do solo pelo tamanho dos grãos.....	69
Tabela 6 – Resultados Finais.....	71
Tabela 7 – Classificação do Solo de acordo com IP.....	72
Tabela 8 – Resultado ensaio de Retração.....	74
Tabela 9 - Resultados individuais do ensaio de absorção de água aos 21 dias.	79
Tabela 10 - Resultados individuais do ensaio de absorção de água aos 28 dias.....	80

## **LISTA DE SIGLAS**

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland.  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.  
ASTM - American Society for Testing and Materials.  
CP – Cimento Portland.  
EPS -Poliestireno Expandido.  
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.  
IP – Índice de Plasticidade.  
MPa – Megapascal.  
NBR – Norma Brasileira.  
PNAD– Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios.  
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos.

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico da distribuição granulométrica do solo utilizado da Jazida – Rodovia dos metalúrgicos.....	69
Gráfico 2 - Gráfico da distribuição granulométrica da areia residual de fundição.....	72
Gráfico 3 – Valores médios do ensaio de compressão do ensaio 1.....	75
Gráfico 4 - Valores médios do ensaio de compressão do ensaio 2.....	77
Gráfico 5 - Valores médios do ensaio de compressão do ensaio 3.....	78

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Delimitação da Problemática.....	14
1.2 Justificativa.....	15
1.3 Estratégias de Pesquisa.....	15
1.4 Estrutura.....	16
1.5 Objetivo.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Déficit Habitacional.....	18
2.2 Resíduos Sólidos e Legislação.....	19
2.3 Areia de Fundição.....	21
2.4 Solo.....	23
2.4.1 Propriedades dos Solos.....	24
2.4.1.1 Propriedades Químicas.....	25
2.4.1.2 Propriedades Físicas.....	25
2.4.1.3 Propriedades Texturais.....	26
2.5 Cimento Portland.....	27
2.6 Tijolo de solo cimento.....	29
2.6.1 Qualidade do solo cimento.....	30
2.6.2 Detalhes construtivos.....	31
2.6.2.1 Fundação.....	32
2.6.2.2 Alvenaria.....	35
2.6.2.3 Lajes.....	44
2.6.3 Vantagens e Desvantagens do Tijolo solo – cimento.....	47
2.6.3.1 Vantagens.....	47
2.6.3.2 Desvantagens.....	48
2.7 Exemplos de Aplicação do Solo Cimento.....	48
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
3.1 Materiais.....	52
3.2 Equipamentos.....	52
3.3 Caracterização das Matérias – Primas .....	54

## SUMÁRIO

3.3.1 Solo.....	54
3.3.2 Mistura.....	60
3.4 Confecção dos Corpos de Prova.....	61
3.4.1 Definição do Traço, seleção granulométrica e Percentual de Água.....	62
3.5 Umidade.....	64
3.6 Compactação.....	64
3.7 Cura.....	65
3.8 Resistência à Compressão.....	67
4 RESULTADOS E DISCURSÕES .....	69
4.1 Solo.....	69
4.2 Areia de Fundição.....	72
4.3 Mistura.....	73
4.4 Resistência à Compressão.....	75
4.5 Umidade.....	79
4.6 Absorção de Água.....	79
5 CONCLUSÃO.....	82
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	84
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resultados do ensaio de compressão do ensaio 2.....	76
Quadro 2 – Resultados do ensaio de compressão do ensaio 3.....	77

## **1 INTRODUÇÃO**

Na atual conjuntura socioeconômica, onde rápidas e intermitentes mudanças têm feito parte do crescente cotidiano inovador e tecnológico, a criação de novos materiais de construção tornou-se algo fundamental. A geração de novos produtos no mercado pode proporcionar uma redução de custo tanto na mão de obra quanto na elaboração do mesmo, fazendo com que o preço final do produto também se altere, ficando mais barato, além de melhorar suas aplicações e continuar atendendo as necessidades dos clientes.

Segundo Oliveira (2013), os materiais eram descobertos de forma empírica, com o intuito de se tornarem mais resistentes, formar ligas mais leves, através de várias proporções diferentes de metais fundidos encontrados na natureza. Foi possível sintetizar novos materiais e descobrir novas propriedades através da física e da química, obtendo uma nova percepção das propriedades fundamentais da matéria.

### **1.1 Delimitação da Problemática**

Os resíduos sólidos acabaram tornando-se um grande problema nas cidades. Esses resíduos acabam gerando problemas sociais, econômicos e ambientais, provenientes do seu manejo inadequado. De acordo com Matos e Schalch (1997), com o desenvolvimento industrial o processo de fundição acarretou inúmeros tipos de poluição através da fabricação de peças metálicas que consiste em difundir em moldes o metal líquido, com características específicas, elaboradas a base de areia. O processo inicia-se com argila, areia de retorno, areia base, e aditivos que são colocados no misturador para homogeneizar os componentes, no qual, são retirados como areia de moldagem para a confecção dos moldes.

A areia de moldagem é um resíduo sólido gerado pelo processo de fundição, na qual, a areia é descartada devida a sua perda de trabalhabilidade, porém, existem também efluentes líquidos e gasosos. Essa areia pode ser reutilizada na fabricação de materiais como: asfalto, artefatos de concreto, cimento Portland agregados de construção e tijolos. Com o reuso dessa areia há uma diminuição nos resíduos sólidos gerados através do processo de fundição além de desenvolver um produto sustentável, que possui uma durabilidade maior, resistência elevada, fácil acabamento, obra mais limpa e sem entulhos. (LEIDEL, 1996 *apud* MATOS; SCHALCH, 1997).

## **1.2 Justificativa**

A motivação para realização deste estudo ocorreu em virtude dos impactos ambientais causados por resíduos sólidos, adequando uma maneira de diminuir esse impacto a sociedade com a elaboração de um tijolo ecológico constituído de solo/cimento com areia de fundição, assim como, intervir na diminuição dos impactos, inclusive, a dimensão de agregar valor ao resíduo como um produto.

## **1.3 Estratégias de Pesquisa**

À luz da investigação científica, este projeto caracteriza-se como pesquisa básica, de abordagem qualitativa e quantitativa e cunho exploratório. O estudo em questão será apresentado de forma explicativa, onde segundo Gil (2002), a ocorrência dos fenômenos deve ser identificada e determinada por seus fatores contribuintes. Esse tipo de pesquisa explica a razão, o porquê das coisas, ou seja, aprofundando o conhecimento da realidade. O risco de cometer algum erro aumenta notavelmente já que é o tipo de pesquisa é mais complexo e delicado.

Quanto ao procedimento de execução, a pesquisa consiste em experimental e bibliográfica, de acordo com Gil (2002), o exemplo de pesquisa científica é melhor

representado pelo experimento. Determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto, consistem nas características de pesquisa experimental. Já a pesquisa bibliográfica é constituída de livros e artigos científicos com base em um material já produzido.

#### **1.4 Estrutura**

O presente trabalho está estruturado em 5 capítulos, o Capítulo 1 retrata sobre a introdução, apresenta o problema de pesquisa, a justificativa e os objetivos. O Capítulo 2, apresenta uma revisão bibliográfica sobre as questões pertinentes acerca do tijolo ecológico e aplicação do mesmo.

Com a intenção de atingir os objetivos propostos, a metodologia empregada para desenvolver o trabalho é apresentada no Capítulo 3. No qual, foram abordados estudos sobre coleta e caracterização dos materiais pré- cursores, abrangendo, uma análise granulométrica, Ph do solo, limite de Liquidez, limite de Plasticidade, retração Linear e massa Unitária, e logo depois definiu-se o traço para confecção do Solo- Cimento.

No capítulo 4, são apresentados os resultados e discussões dos experimentos, e no Capítulo 5, são apresentadas as principais conclusões da pesquisa.

#### **1.5 Objetivo**

Dado o exposto, tem-se como objetivo comprovar a eficácia da inserção da areia de fundição na matriz dos tijolos ecológicos, quanto à sua resistência a compressão, acompanhando as exigências necessárias para a fabricação do mesmo, de acordo com as normas da ABNT.

E no que tange aos objetivos específicos visa:

- Identificar através da análise em laboratório as propriedades dos materiais constituintes;
- Discutir a quantidade necessária de cada componente para a fabricação do tijolo para que este atinja as especificações contidas na norma;
- Descrever quais os benefícios da utilização do tijolo ecológico;
- Analisar o processo de fabricação do tijolo de solo/cimento com areia de fundição;
- Descrever as etapas necessárias para a construção de uma residência com a utilização do tijolo de solo/cimento.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O capítulo 2, intitulado de revisão bibliográfica do estudo em questão, apresenta duas abordagens. A primeira abordagem se atém às questões pertinentes ao déficit habitacional, resíduos, matéria prima e desenvolvimento de tijolos ecológicos. Em complemento e devido aos poucos materiais disponíveis no segmento, a abordagem exemplifica obras de solo-cimento e detalha todos os procedimentos de execução do sistema construtivo para aplicação de tijolos ecológicos.

### **2.1 Déficit Habitacional**

A Fundação João Pinheiro, desenvolveu uma metodologia que designa que o déficit habitacional pode ser separado em duas classes: famílias que moram em domicílios precários ou alugados e famílias que moram com outras famílias. Os domicílios precários são as moradias que não possuem uma parede de material adequado e os domicílios alugados possuem um valor excedente no aluguel que atinge cerca de 30% da renda familiar. A segunda classe do déficit é composta pelas famílias que moram com outras famílias na mesma moradia e pelas famílias que moram em cômodos alugados ou cedidos (FIESP,2016).

No ano de 2014, cerca de 3,258 milhões de famílias que fazem parte do déficit habitacional estavam sendo atingidos com o valor excessivo do aluguel. Na coabitação familiar, outro item importante do déficit, havia cerca de 1,762 milhão de famílias (FIESP,2016).

Em termos absolutos, a região com a maior concentração do déficit habitacional foi a região Sudeste, cerca de 2,625 milhões de famílias fazem parte das condições de déficit. Os estados da região Sudeste que em 2014 se destacaram com a maior concentração do déficit habitacional foram São Paulo com 1,432 milhão de famílias, Minas Gerais 545 mil e Rio de Janeiro 472 mil famílias (FIESP,2016).

O estudo ressalta que o déficit relativo (o total do déficit dividido pelo total de famílias de cada região) atingiu as regiões mais pobres do país. A região que apresentou o maior déficit foi a região Norte com 11,9%, depois a região Nordeste 10% e a região Sul foi a que obteve a menor taxa, de 6,2% (FIESP,2016).

O déficit habitacional no país de acordo com os resultados calculados pela Fundação João Pinheiro foi de 6, 198 milhões de famílias no ano de 2014. Para a realização de cálculo do déficit habitacional a Fundação teve como fonte de pesquisa a Amostras de Domicílios (PNAD) e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (FIESP, 2016).

## **2.2 Resíduos Sólidos e Legislação**

A partir dos anos 80 a geração de resíduos se tornou um grande problema com o surgimento de novas tecnologias e com o aumento populacional, esse problema decorre da ausência de área para a disposição desses resíduos em virtude da ocupação de áreas urbanas (JOHN, 2000 *apud* FERRAZ; SEGANTINI, 2012).

Os resíduos gerados pela Construção Civil constituem algo entre 40 e 70% do total de resíduos sólidos urbanos. Cerca de 14 e 50% dos recursos naturais extraídos do planeta e no Brasil são consumidos pela indústria da Construção Civil, ou seja, os resíduos da Construção Civil variam de 51 a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos (FERNANDES, 2013).

O mal gerenciamento dos resíduos da Construção Civil, prejudica a qualidade da vida urbana, pois há uma sobrecarga nos serviços municipais de limpeza, uma vez que, o manuseio desses resíduos deve ser de responsabilidade dos geradores (FERNANDES, 2013).

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, instituída a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS no inciso XVI do Artigo 3º da PNRS, estabelece como Resíduos Sólidos:

- a) Materiais, substâncias, objetos ou bens descartados, nos estados sólido ou semissólido;
- b) Líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;
- c) Gases contidos em recipientes.

De acordo com Matos e Schalch (1997), com o desenvolvimento industrial o processo de fundição acarretou inúmeros tipos de poluição através da fabricação de peças metálicas que consiste em difundir em moldes o metal líquido, com características específicas, elaboradas a base de areia. O processo inicia-se com argila, areia de retorno, areia base, e aditivos que são colocados no misturador para homogeneizar os componentes, no qual, são retirados como areia de moldagem para a confecção dos moldes.

Os resíduos sólidos industriais são provenientes de atividade industrial, retratam características mais homogêneas do que os resíduos sólidos urbanos. Um ponto positivo desses resíduos é que eles podem ser enviados a processos produtivos que possam aproveitar de benefícios dos mesmos. Nas indústrias o processo de reciclagem é mais eficiente que em residências, já que se consegue separá-los com mais facilidade (CALIJURI; CUNHA, 2013).

De acordo com NBR 10004: 2004 os resíduos sólidos são classificados como:

**Resíduos Classe I – Perigosos:** Aqueles que apresentam as seguintes características: Inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

**Resíduos Classe II – Não Perigosos:** Que se dividem em duas sub-classes.

**Resíduos Classe II A – Não inertes.** Aqueles que apresentam propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

**Resíduos Classe II B – Inertes.** Quaisquer resíduos que, submetidos a um contato com água não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água. São resíduos inertes as rochas tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas.

Para resíduos industriais perigosos semelhante aos sanitários, a destinação final se dá em aterros, pois há um grande risco de contaminação. A drenagem de águas pluviais deve ser muito mais efetiva, e deve contar com bons sistemas de detecção de vazamentos. Os resíduos podem também ser encapsulados, reduzindo sua solubilidade através de reações e reduzindo também sua toxicidade (BIDONE; POVINELLI, 2010 *apud* CALIJURI; CUNHA, 2013).

### 2.3 Areia de Fundição

O processo básico de fundição se baseia em utilizar moldes feitos de areia, com o formato da peça desejada, e então um metal líquido é vazado para dentro do molde (MATOS; SCHALCH, 1997).

Na primeira fase do processo ocorre a confecção e preparação do molde, e em seguida a execução do balanceamento de alguns componentes para a aplicação específica do molde. Logo após, é colocada a argila, a areia de base, a areia de retorno, bem como os aditivos para aplicação específica. Tais componentes são misturados, e então se obtém a areia de moldagem. Essa areia é encaminhada para o preparo dos moldes *in loco*, no qual, estão localizados os machos conforme a figura 1 (MATOS; SCHALCH, 1997).

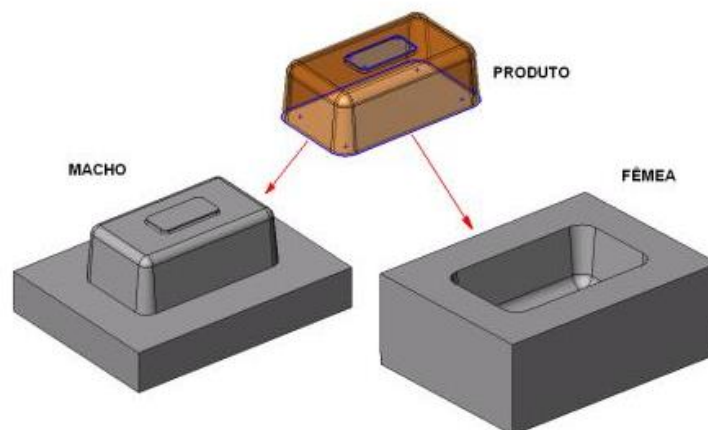


Figura 1 – Produto macho e fêmea  
Fonte: Moldes macho (2012).

Machos são os modelos das partes vazias (ocas) das peças, devem ser feitos com material resistente o suficiente para suportar o processo de vazamento do metal fundido, porém devem ser quebráveis após o processo. Com a caixa de moldagem pronta, o metal fundido é vazado para dentro das caixas de moldagem. Logo a peça fica isolada do molde, após rápida transferência de calor entre metal e areia. A areia de moldagem retorna para o processo de preparação da areia de moldagem, e a peça metálica é enviada para controle de qualidade (MATOS; SCHALCH, 1997).

Essa areia pode ser reutilizada na fabricação de materiais como: asfalto, artefatos de concreto, cimento Portland agregados de construção, tijolos. Com o reuso dessa areia há uma diminuição nos resíduos sólidos gerados através do processo de fundição além de desenvolver um produto sustentável, que possui uma durabilidade maior, resistência elevada, fácil acabamento, obra mais limpa e sem entulhos (LEIDEL, 1996 *apud* MATOS; SCHALCH, 1997).

Em 1996, pesquisas sobre o custo da geração e disposição de resíduo já apontavam que no Brasil as indústrias de fundição estavam sendo afetadas economicamente (MARIOTO; BONIN, 1996 *apud* MATOS; SCHALCH, 1997).

Fato agravante a essa situação foi o aumento dos custos de disposição, carência de aterros adequados e as dificuldades em atender às exigências normativas e legais (MATOS; SCHALCH, 1997).

A areia de fundição é geralmente é classificada como Resíduos Classe I (perigosos) e Resíduos Classe II A (não inertes) (COMISSÃO DE MEIO AMBIENTE DA ABIFA, 1999 *apud* FAGUNDES; SILVA, 2011). Ela também pode ser classificada quanto a sua composição química: Sílica, Cromita, Zirconita, Olivina e Chamote. No presente trabalho, a areia de fundição utilizada é a classificada como Cromita, essa areia é extremamente importantes em vários segmentos industriais, como por exemplo, na fabricação de vidros e na indústria de fundição (LINS; LUZ, 2005).

Na tabela 1, obtem- se as especificações de uma areia para fundição conforme a NBR 12672: 1992:

Tabela 1 – Especificações da Areia de Fundição

Características	Valor
Teor de umidade (%)	0,1 max.
Teor de SiO <sub>2</sub> (%)	99,0 max.
Teor de argila total (%)	0,1 max.
Superfície específica teórica (cm <sup>2</sup> /g)	95 – 107
Tamanho de grão médio (mm)	0,230 – 0,260
Coefficiente de angularidade	1,20 – 1,40
Módulo de finura	55 – 61
Valor da demanda de ácido (mL HCl 0,1 N/50g de areia a pH 2)	3,0 máx.
Permeabilidade-base (AFS)	110-140
Número específico teórico de grãos (dez unidades/g)	7,0 – 10,0
Diâmetro representativo (mm)	0,188 – 0,211
Grau de afastamento (%)	10,0 – 13,0

FONTE: NBR 12672: 1992.

## 2.4 Solo

A formação dos solos é causada por diversos fatores. A superfície terrestre é continuamente atacada por água, agentes da atmosfera, precipitações, variações de temperatura, ventos e reações químicas. Através de um processo denominado por intemperismo que se inicia a formação dos solos (MIELI, 2009).

O intemperismo consiste na desagregação das rochas, podendo ser classificado como físico ou químico, havendo alteração na constituição da rocha matriz somente no processo químico. Segundo Mieli (2009), em regiões tropicais como no Brasil ocorre maior presença de intemperismo químico devido ao grande número de precipitações.

O solo é cortado em camadas de perfis ou perfis de intemperismo revelam diversas camadas, podendo ser classificadas em horizontes A, B e C, onde seu emprego para cada horizonte proporciona resultados distintos devido a peculiaridade e característica quanto a presença de determinados constituintes de influência, como a granulometria e os minerais (MIELI, 2009).

As rochas são agregados de minerais podendo ser classificadas em ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas conforme sua formação, contendo minerais essenciais que as definem. Esses minerais são definidos como substâncias que devem atender diversas características como estrutura atômica organizada, formação externa poliédrica, processo de formação natural e inorgânico, entre outras (TERZAGHI; PECK, 1961 *apud* GRANDE, 2003).

O solo pode ser definido como partículas sólidas provenientes do intemperismo, sendo então classificado como estrutura porosa que possibilita movimentação livre dessas partículas entre si e conforme essa movimentação obtém-se mudanças em seu comportamento (MIELI, 2009).

#### **2.4.1 Propriedades dos Solos**

O diâmetro das partículas do solo é limitado a 0,2 mm e tendo em vista a composição por partículas sólidas, líquidas e gasosas a parte sólida é insolúvel em água e constitui-se por minerais que se dividem em grupos de inertes ou fração grossa e argilo- minerais (MIELI, 2009).

Segundo Mieli (2009), no procedimento de execução, o solo é o elemento de maior proporção, de maneira que possa se utilizar a menor quantidade de cimento.

Os solos mais adequados possuem as seguintes características:

- % passando na peneira 4,2mm (nº 4) - 100%
- % passando na peneira 0,075mm (nº 200) - 10 a 50%
- Limite de Liquidez -  $\leq 45\%$
- Índice de Plasticidade -  $\leq 18\%$

Caso o solo utilizado não seja viável, pode-se utilizar dois ou mais solos para que este se torne viável e possa ser usado como solo-cimento. O solo deve estar seco e peneirado para que possa ser misturado com o cimento (MIELI, 2009).

#### **2.4.1.1 Propriedades Químicas**

Dependendo da composição do solo estes apresentam características distintas. A composição química de um solo pode ser definida através de sua granulometria e composição mineralógica. Solos Finos apresentam os chamados argilo-minerais que são silicatos hidratados de alumínio muito reativos, práticos e com dimensões inferiores a 2 micrometros (SABBAG, 1980 *apud* GRANDE, 2003).

Argilas apresentam grande variação de volume definidas por sua estrutura iônica com alteração de umidade sendo a montmorilonita suscetível e a caulinita menos reativa. Solos com areias não possuem atrito interno constituindo-se de minerais provenientes do intemperismo do quartzo na forma cristalina. Com base em comparações entre areia e argila conclui-se que as argilas são melhores para aplicação em solo-cimento por menor necessidade de cimento para sua estabilização (SABBAG, 1980 *apud* GRANDE, 2003).

#### **2.4.1.2 Propriedades Físicas**

A importância de se entender o comportamento físico dos solos está associada ao seu uso apropriado, orientar na irrigação, drenagem, preparo e conservação de solo e água é essencial tendo como objetivo principal entender os mecanismos que governam sua funcionalidade e seu papel na biosfera. Devido ao tipo e natureza das variações físicas dos solos que ocorrem ao longo de sua profundidade é difícil sua definição fisicamente (REINERT; REICHERT, 2006).

Uma das mais importantes propriedades físicas referem-se a textura do solo e estrutura do solo definidas pelo tamanho e arranjo de partículas em agregados. Uma série de mecanismos de importância na física dos solos é desenvolvida por sua porosidade pois é responsável por um conjunto de fenômenos como retenção do fluxo de água e ar e quando analisada conjuntamente com a matriz do solo gera um grupo de propriedades físicas associadas à sua massa e volume. Outro fator importante são as propriedades associadas a reação mecânica dos solos quanto a aplicação de forças externas (REINERT; REICHERT, 2006).

#### **2.4.1.3 Propriedades Texturais**

A classe textural de um solo é uma característica importante com poucas variações ao longo do tempo. Tais variações são causadas pelo processo de erosão seletiva ou pelo intemperismo, o uso e manejo do solo também são fatores que afetam muito pouco em sua textura implicando no fato em que as variações estão associadas a qualidade física e variação de propriedades físicas (REINERT; REICHERT, 2006).

A avaliação da textura de um solo pode ser feita diretamente no campo ou em laboratório. Pode-se obter uma estimativa ao manusear uma amostra de solo através do tato e seus resultados encontrados são de que a areia apresenta sensação de aspereza, o silte maciez, e a argila maciez, plasticidade e pegajosidade quando molhada, conforme a figura 2: (REINERT; REICHERT, 2006).

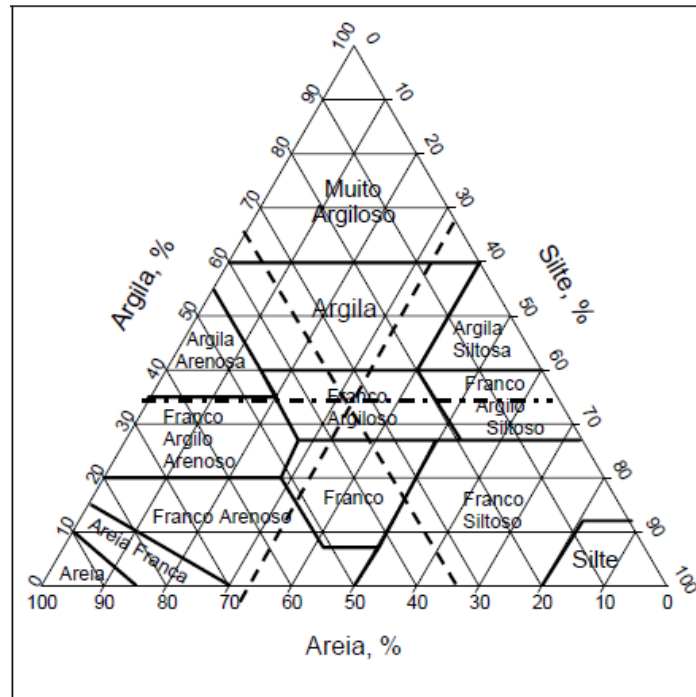


Figura 2 – Triângulo textural (TT) com as 13 classes texturais  
 Fonte: Reinert e Reichert (2006).

## 2.5 Cimento Portland

O cimento Portland possui propriedades aglomerantes, ligantes ou aglutinantes, que juntamente com a ação da água ocorre o seu endurecimento. Quando misturado com outros materiais de construção como a pedra britada, areia, cal, pó de pedra resulta nos concretos e argamassas (ABCP, 2002).

A fabricação é dividida pelas seguintes fases, extração da matéria-prima, britagem, pré-homogeneização primária e secundária, moagem e homogeneização, pré-aquecimento, pré-calcinação, clínquerização, adição e moagem do clínquer e expedição (ABCP, 2002).

Hoje existem no mercado diferentes tipos de Cimento Portland, alguns possuem certas características e propriedades tornando-se mais adequados para determinados usos. O Cimentos Portland é classificado em simples e compostos, os simples subdividem-se em CP comum ou com adição e os compostos em CP

composto com escória, composto com pozolana e composto de fíler, e existem ainda CP de alto forno, pozolânico, de alta resistência inicial, de baixo calor de hidratação, resistente aos sulfatos, branco e para poços petrolíferos (ABCP, 2002).

Tabela 2 – Informações técnicas do Cimento Portland

Nome técnico		Sigla	Classe	Identificação do tipo e classe
Cimento portland comum (NBR 5732)	Cimento portland comum	CP I	25 32 40	CP I-25 CP I-32 CP I-40
	Cimento portland comum com adição	CP I-S	25 32 40	CP I-S-25 CP I-S-32 CP I-S-40
Cimento portland composto (NBR 11578)	Cimento portland composto com escória	CP II-E	25 32 40	CP II-E-25 CP II-E-32 CP II-E-40
	Cimento portland composto com pozolana	CP II-Z	25 32 40	CP II-Z-25 CP II-Z-32 CP II-Z-40
	Cimento portland composto com fíler	CP II-F	25 32 40	CP II-F-25 CP II-F-32 CP II-F-40
Cimento portland de alto-forno (NBR 5735)		CP III	25 32 40	CP III-25 CP III-32 CP III-40
Cimento portland pozolânico (NBR 5736)		CP IV	25 32	CP IV-25 CP IV-32
Cimento portland de alta resistência inicial (NBR 5733)		CP V-ARI	-	CP V-ARI
Cimento portland resistente aos sulfatos (NBR 5737)		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo RS. Exemplo: CP I-32RS, CP II-F-32RS, CP III-40RS etc.
Cimento portland de baixo calor de hidratação (NBR 13116)		-	25 32 40	Sigla e classe dos tipos originais acrescidos do sufixo BC. Exemplo: CP I-32BC, CP II-F-32BC, CP III-40BC etc.
Cimento portland branco (NBR 12989)	Cimento portland branco estrutural	CPB	25 32 40	CPB-25 CPB-32 CPB-40
	Cimento portland branco não estrutural	CPB	-	CPB
Cimento para poços petrolíferos		CPP	G	CPP - classe G

FONTE: ABCP (2002).

No presente trabalho foi utilizado o Cimento Portland composto, usou-se o CP III 40 RS, pois possui propriedades satisfatórias para confecção do solo-cimento.

## 2.6 Tijolo de Solo Cimento

Após o desenvolvimento da fabricação dos tijolos solo-cimento no Brasil, poucos fabricantes permaneceram bem no mercado. Houve um abandono dessa tecnologia devido um preconceito cultural em relação ao material (VIOLANI, 1987 *apud* GRANDE, 2003).

A qualidade do tijolo, que passa pelo processo de estabilização do solo-cimento envolve muitas variáveis, cuja complexidade no tratamento depende de muito conhecimento e controle tecnológico, fato que talvez tenha influenciado na opinião pública (GRANDE, 2003).

A qualidade do solo escolhido é primordial para o sucesso na obtenção de um tijolo de solo-cimento com qualidades aceitáveis. Ainda após a estabilização do material, pode-se observar defeitos; fissuras, variações volumétricas, heterogeneidade das características e propriedades, degradação precoce do material. As causas dos problemas comuns podem estar ligadas às reações dos aditivos com a água, presença de sais e matéria orgânica, partículas de mica e feldspato (GRANDE, 2003).

Uma vantagem ambiental em relação à produção dos tijolos é a ausência de queima (economia de energia), além da possibilidade de inserir aditivos na sua estrutura agregando rejeitos de diversas fontes (GRANDE, 2003). No caso da presente pesquisa esses aditivos seriam as areias de fundição.

Em relação ao uso os tijolos podem ser empregados como qualquer outra alvenaria, seja estrutura ou de vedação, desde que atendentes à especificação de resistências estabelecidas em projeto. Paredes feitas com tijolos solo-cimento têm inclusive durabilidade e comportamento de resistividade e isolamento térmicos semelhantes à de blocos cerâmicos (GRANDE, 2003).

São quatro as etapas principais da fabricação do tijolo tipo solo-cimento: Primeiro a preparação do solo (destorroar e peneirar a seco); logo em seguida o

preparo da mistura que consiste em adicionar cimento e misturar, seguido de adição água uniformizando a umidade do solo com mais mistura; em terceiro passo a própria moldagem dos tijolos sempre compactando bem ou conforme prensa; em quarto lugar faz-se a cura e o armazenamento por sete dias sempre mantendo os tijolos úmidos (GRANDE, 2003).

### **2.6.1 Qualidade do Solo Cimento**

A qualidade do solo-cimento está atrelada a diversos fatores, dos quais os principais podem se enquadrar, a compactação da mistura, o método usado na mistura, o tipo de solo empregado e o teor de cimento usado. Desses fatores o mais influente na adequação da mistura é o solo (GRANDE, 2003).

A porcentagem máxima para viabilidade econômica da mistura do solo com cimento é de 50% de finos, o que traduz a grande influência da granulometria no processo. Em pesquisa foram encontradas afirmações distintas quanto à influência da matéria orgânica no resultado final do tratamento do solo com cimento ou não (GRANDE, 2003).

Isso porque foram observados resultados positivos com alto teor de matéria orgânica, e também com o inverso. Posteriormente descobriu-se que o excesso de Cal de alguns tipos de cimento, pode neutralizar os efeitos negativos dos açúcares e do ácido húmico através de uma correção no pH, visto que são os principais agentes negativos da estabilização na presença de matéria orgânica (CLARE, 1954 *apud* GRANDE, 2003).

Logo, se destaca um limite ideal máximo de 2% para as concentrações de matéria orgânica, para que se obtenha sucesso na mistura solo-cimento (GRANDE, 2003).

Uma evidência interessante de que a mistura é fator influente na resistência e durabilidade, é que a variação de resistência pode ser de até 50% quando o solo-

cimento fabricado para pavimentação é misturado em laboratório e no campo (GRANDE, 2003).

Existe uma sequência estabelecida pela ABCP (1985) para a mistura de solo-cimento na produção de tijolos e blocos. Primeiro deve-se preparar o solo destorroando, pulverizando e peneirando. Depois a mistura é preparada adicionando cimento e homogeneizando a seco e a úmido. A moldagem que é o processo final, é o uso efetivo da mistura nos moldes que darão forma aos tijolos.

A preocupação para que o material atinja um peso específico satisfatório é fundamental, para isso faz-se uso de uma boa compactação. Isso vai lhe conferir a resistência mecânica apropriada que se deseja atingir para o fim escolhido (GRANDE, 2003).

Grande (2003), afirma que para estabilizar o solo-cimento, o conceito de relação entre água e cimento é diferente da utilizada em tecnologias de concreto.

Todas essas afirmações nos levam a concluir que o teor de umidade e compactação do solo deve ser cuidadosamente observado na confecção de tijolos solo-cimento, o que leva também Grande (2003), a afirmar que a umidade ótima de compactação é suficiente para hidratar o cimento, desde que levado em consideração a boa homogeneização da mistura, fazendo com que o último entre em contato suficiente com a água.

### **2.6.2 Detalhes Construtivos**

Após o desenvolvimento da fabricação dos tijolos solo-cimento no Brasil, poucos fabricantes permaneceram bem no mercado. Houve um abandono dessa tecnologia devido a um preconceito cultural em relação ao material (VIOLANI, 1987 *apud* GRANDE, 2003).

A definição da norma ABNT NBR 10832:1989 define que o tijolo maciço de solo-cimento é um elemento de alvenaria, cujo volume é igual ou superior a 85% do seu volume total aparente. A qualidade do tijolo, que passa pelo processo de estabilização do solo-cimento envolve muitas variáveis, cuja complexidade no tratamento depende de muito conhecimento e controle tecnológico, fato que talvez tenha influenciado na opinião pública (GRANDE, 2003).

A qualidade do solo escolhido é primordial para o sucesso na obtenção de um tijolo de solo-cimento com qualidades aceitáveis. Ainda após a estabilização do material, pode-se observar defeitos, fissuras, variações volumétricas, heterogeneidade das características e propriedades, degradação precoce do material. As causas dos problemas comuns podem estar ligadas às reações dos aditivos com a água, presença de sais e matéria orgânica, partículas friáveis de mica e feldspato, assim como descontinuidade das características da matéria prima usada (GRANDE, 2003).

Enquanto que na cerâmica e no tijolo de solo cozido são atingidas as propriedades mecânicas durante a queima. Neste contexto, o responsável por atingir as propriedades desejadas no tijolo solo-cimento é o empacotamento dos grãos após a compactação. Isso confere a ele alta densidade e baixa porosidade (GRANDE, 2003).

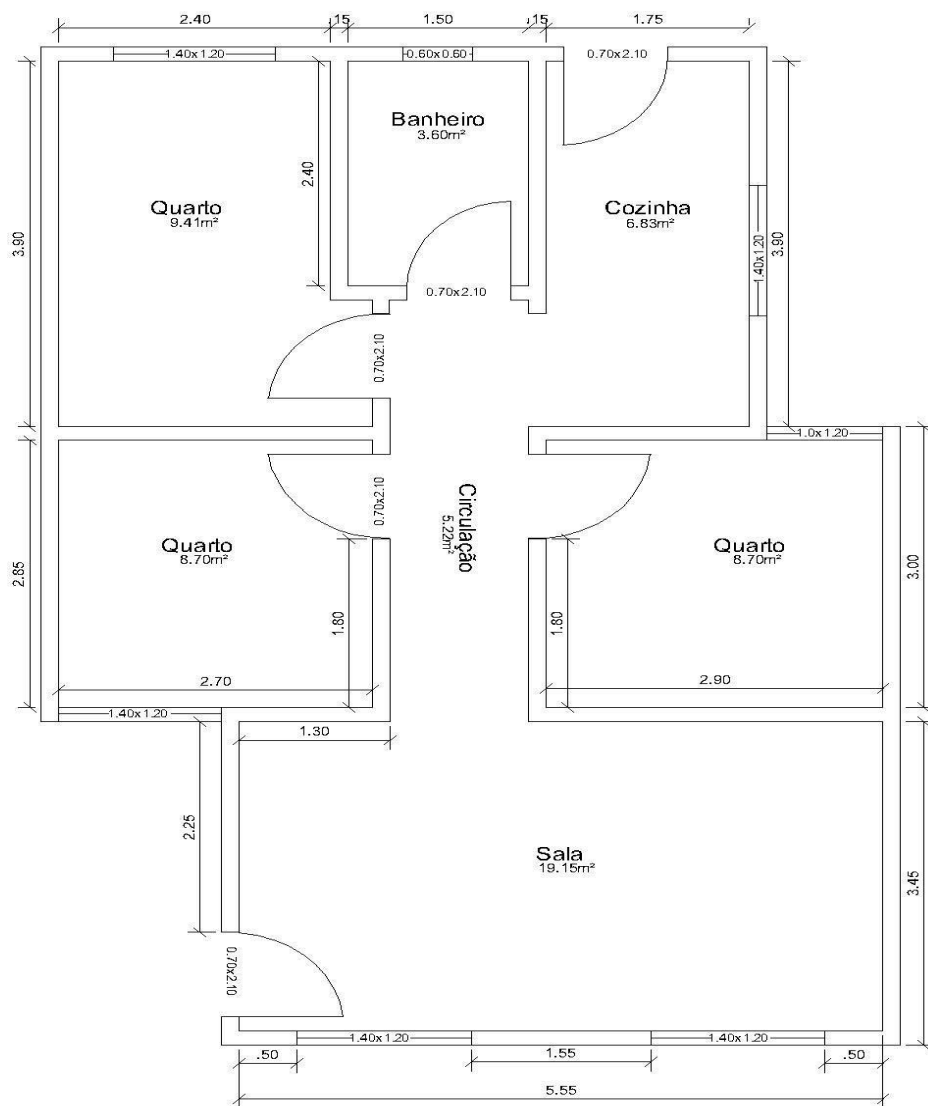
### **2.6.2.1 Fundação**

No sistema construtivo com tijolos ecológicos como em outros tipos de construção, deve-se realizar um estudo do solo, ou seja, um Engenheiro Civil executa a sondagem, analisa o solo e a carga da construção para a definição do tipo de fundação (BIOBLOC, 2014). Os tipos de fundações mais usuais são:

- Sapata Corrida;
- Sapata Isolada e Cintamento e;
- Radier.

Sendo que o projeto de fundação deve ser feito por um profissional habilitado, pois a princípio pode ter concepções de acordo com o tipo de solo e topografia.

Para dar início ao processo construtivo da fundação é necessário ter a planta arquitetônica como mostra a figura 3 para elaborar as plantas moduladas sendo, uma de fundação, primeira fiada, independência de paredes e de localização dos grautes, portas e janelas (BIOBLOC, 2014).



Planta de Arquitetura  
Escala 1:100

Figura 3 - Planta Arquitetônica  
Fonte: Elaborado pelas Autoras.

Como exposto o projeto de fundação com a análise do solo deve ser feito por um profissional habilitado, pois trata-se de alvenaria estrutural. Após feito a análise do solo, definir o tipo de fundação e carga da construção, executa-se a parte inicial da construção que é a fundação conforme a figura 4:



Figura 4 - Fundação tipo radier concretada  
Fonte: Eco Maquinas (2016).

Posteriormente a fundação é imprescindível que se faça uma camada de impermeabilização, com o propósito de proteger contra a umidade para não ocasionar a segregação na estrutura e não danificar os tijolos (BIOBLOC, 2014). Em caso do uso da fundação tipo sapata corrida a impermeabilização é feita nas vigas e no uso do radier a impermeabilização é feita conforme a figura 5. Após feito toda a impermeabilização pode iniciar-se o contra - piso.



(a)



(b)

Figura 5 – a) Radier em processo de Impermeabilização  
b) Impermeabilização sobre o radier  
Fonte: Biobloc (2014).

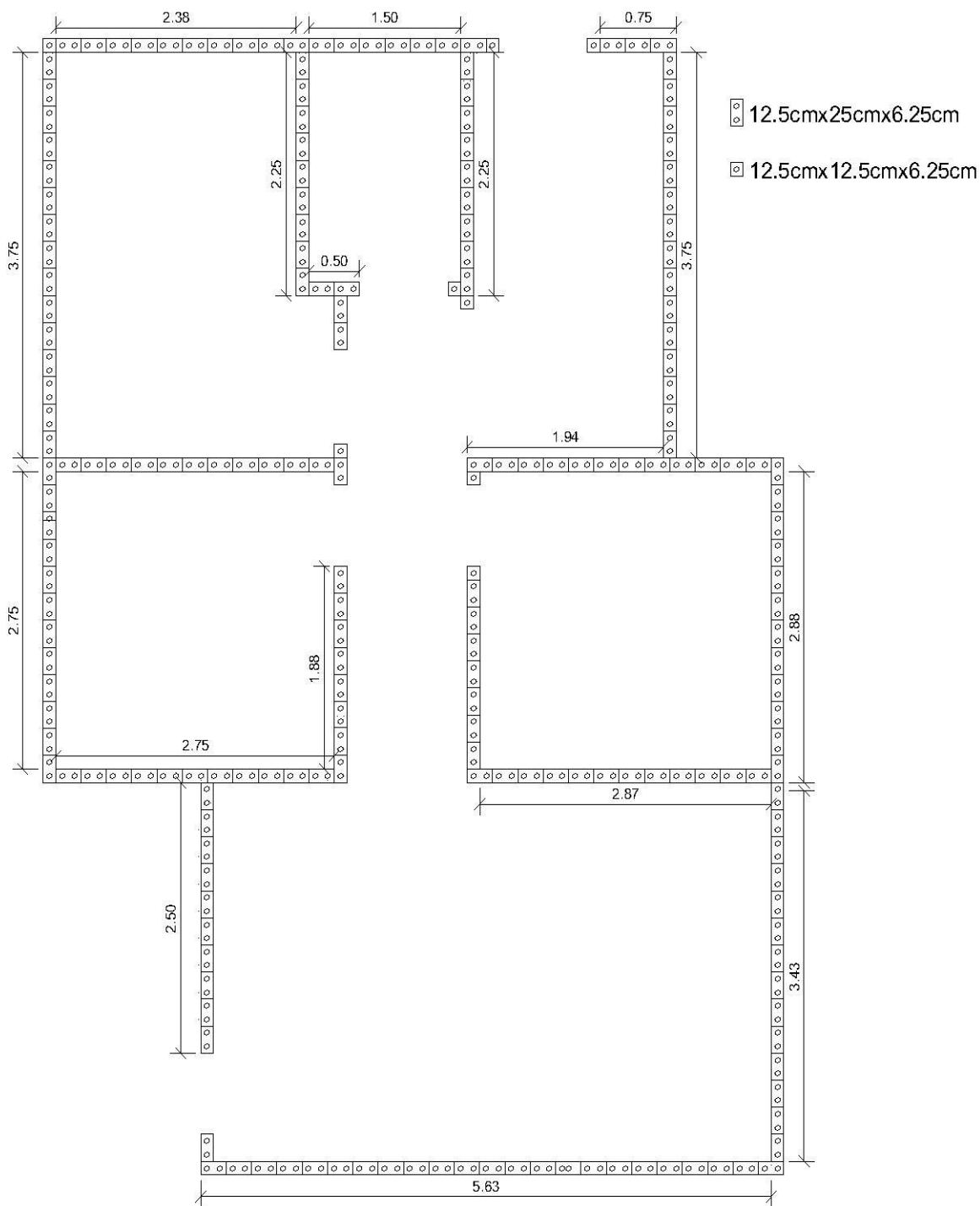
Na elaboração do projeto arquitetônico deve-se levar em consideração as dimensões a serem adotadas para o encaixe exato dos tijolos, sendo assim, as dimensões múltiplas de 0,15 metros. Os pilares são ancorados diretamente na fundação, por isso há a necessidade de se consultar os projetos frequentemente para saber o local específico do posicionamento dos ferros (MONTE SEU PROJETO, 2011).

### **2.6.2.2 Alvenaria**

Com a finalização do processo de fundação, a primeira fiada de tijolos pode ser assentada. A primeira fiada é a mais importante, pois caso ocorra um erro nesta fase sua correção será impraticável, já que se torna inviável o reajuste dos tijolos, uma vez que, estes não podem ficar desalinhados, gerando espaços que impossibilitam o seu encaixe (BIOBLOC, 2014).

A planta da primeira fiada é a segunda planta a ser consultada para prosseguir com a construção conforme exposto na figura 6:

-



Planta de Primeira Fiada  
Escala 1:100

Figura 6 - Modulação  
Fonte: Elaborado pelas Autoras.

A primeira fiada de tijolos deve ser assentada inicialmente com uma camada de argamassa comum com aditivo impermeabilizante, iniciando sempre de um canto da edificação, conforme a figura 7 (BIOBLOC, 2014).



Figura 7 - Primeira fiada de tijolos  
Fonte: Tijoleko (2011).

Segundo Biobloc (2014), os tijolos devem ser assentados com um espaçamento de 1 a 2 milímetros, pois os tijolos sofrem dilatação e retração conforme as mudanças climáticas. Os espaçamentos evitam as possíveis trincas conforme a figura 8.

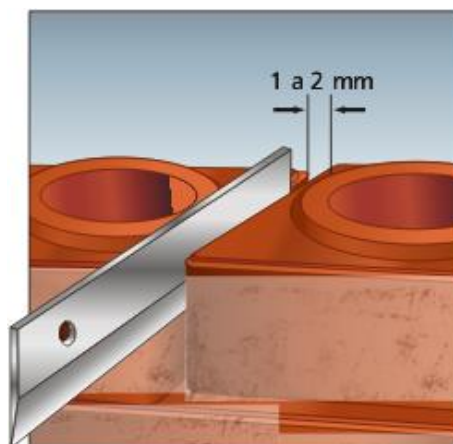


Figura 8 - Espaçamento dos tijolos  
Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

As próximas fiadas de tijolos podem ser empregadas com uma cola de PVA (cola branca) ou assentamento sem cola utilizando apenas o sistema de encaixe dos tijolos, estes podem fazer à substituição a argamassa convencional (ECO MÁQUINAS, 2016).

A cola de PVA é aplicada sobre a superfície do tijolo ecológico de acordo com a figura 9, encaixando na parte superior e tem a função de não deixar um tijolo grudado ao outro evitando eventuais irregularidades. Para a aplicação da cola é utilizada a própria bisnaga que já possui um bico dosador (CARTILHA ECO PRODUÇÃO, 2011).

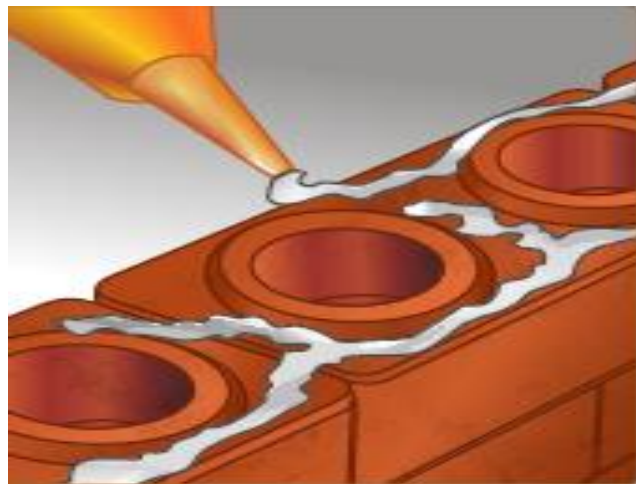
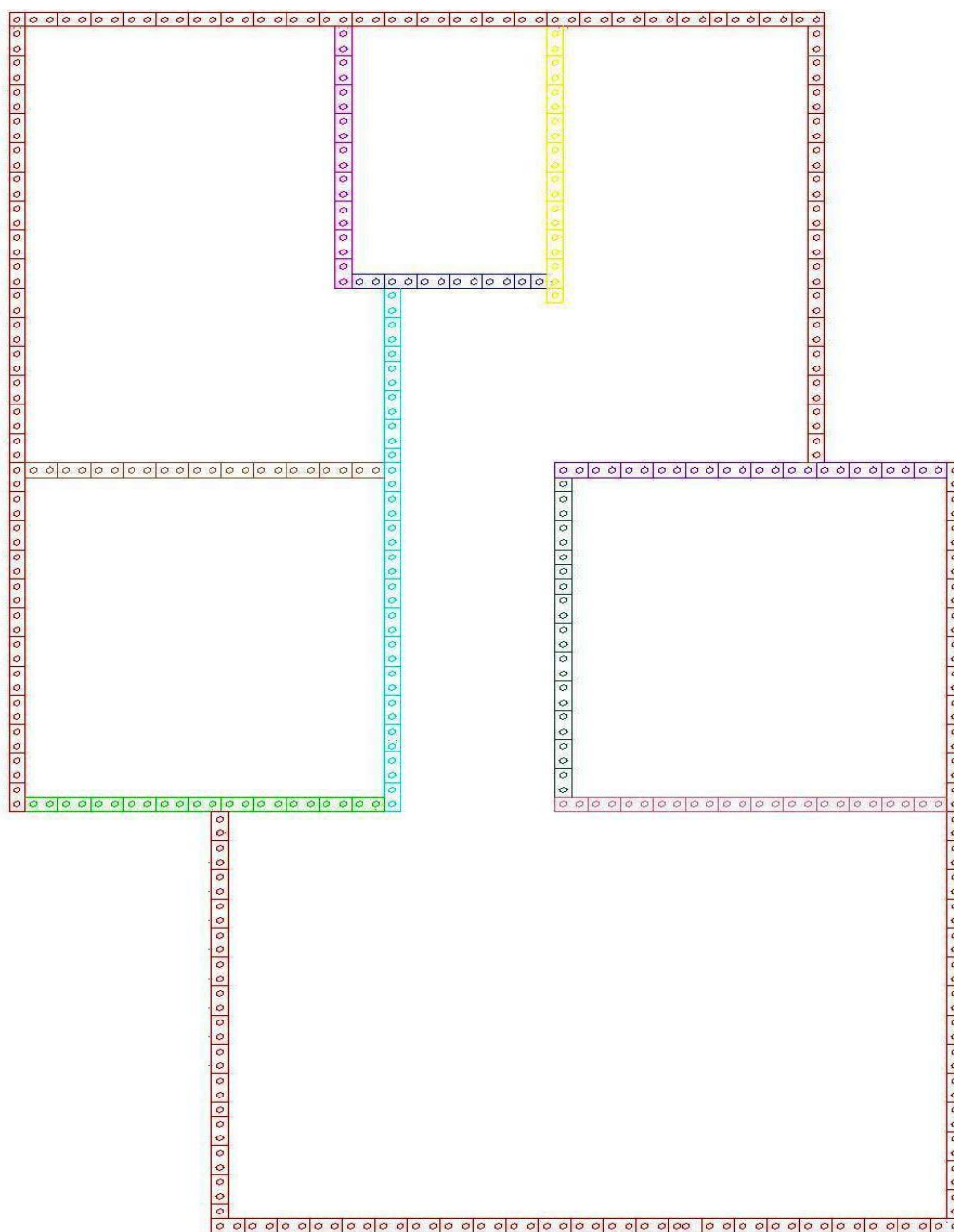


Figura 9 - Aplicação da cola PVA  
Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

Em seguida, a figura 10 evidência a planta de independência de paredes:



## Planta de Independência de paredes Escala 1:100

Figura 10 - Planta de independência de paredes  
Fonte: Elaborado pelas Autoras.

Os pilares são formados por vergalhões de aço de 5/16" (8 mm), que passam por dentro dos orifícios do tijolo. Algumas orientações devem ser seguidas, como por exemplo, o número mínimo de vergalhões nos cantos deve ser 3 para obra de um

pavimento e 6 para obra de dois pavimentos, nas laterais das janelas e portas deverá haver vergalhões, assim como nas interligações e em vãos maiores que 0,80 cm (MONTESEUPROJETO, 2011). A planta de localização dos graudes, portas e janelas é fundamental para posicionar as colunas como mostra a figura 11:

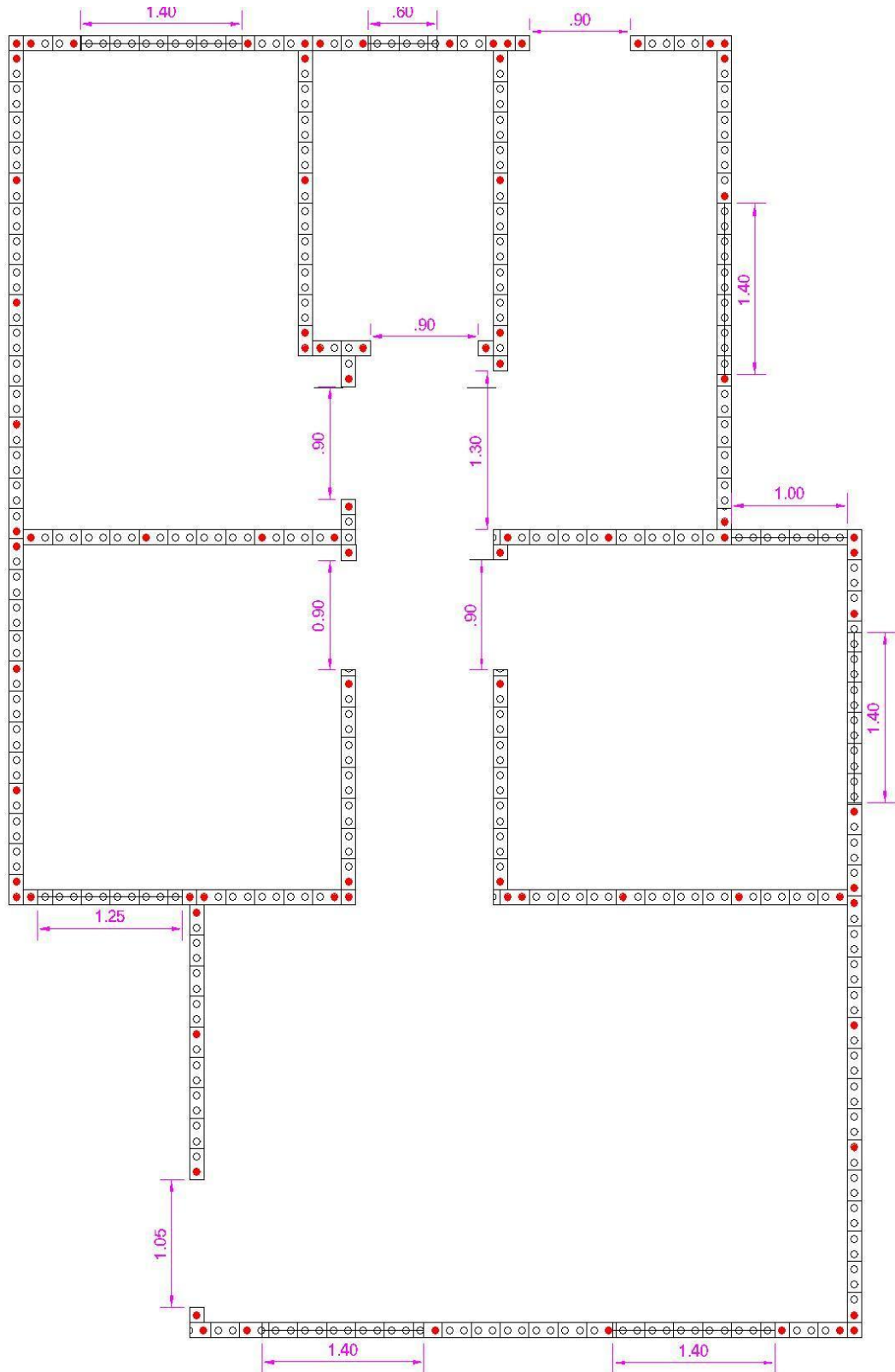


Figura 11 - Planta de Localização dos Grautes, Portas e Janelas  
Fonte: Elaborado pelas Autoras.

**Legenda:**







Grautes-		Aço 5/16"
Pilares-		Pilar em L
		Pilar em T
		Pilar em linha
Tijolo Ecológico-		12.5cmx25cmx6.25
		12.5cmx12.5cmx6.25cm

Figura 12 - Legenda

Fonte: Elaborado pelas Autoras.

De acordo com a figura 13, as colunas são preenchidas com graute a cada 0,50 cm de altura, evitando a possível formação de vazios que comprometem a estrutura. O graute que preenche as colunas é preparado com pedra zero, areia grossa e cimento. No momento da concretagem das colunas os tijolos necessitam ser molhados para impossibilitar a presença de futuras trincas (CARTILHA ECOPRODUÇÃO, 2011).

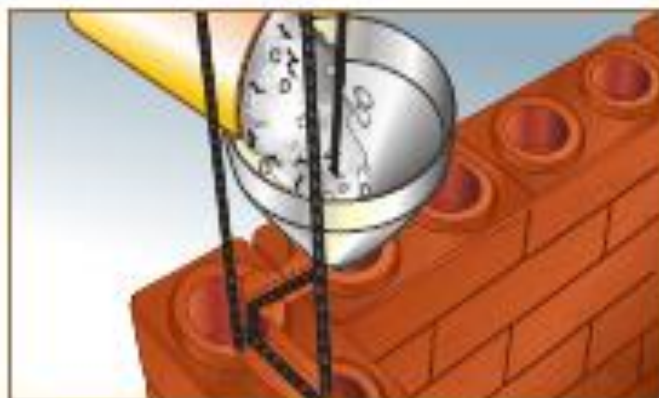


Figura 13 - Preenchimento da Coluna

Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

O número de colunas varia de acordo com o tamanho da obra, logo a quantidade e forma de distribuição é avaliada pelo o engenheiro responsável. Em relação a alvenaria modular, a cada 0,50 cm de alvenaria erguida há interligação das colunas por grampos conforme a figura 14 (CARTILHA ECOPRODUÇÃO, 2011).

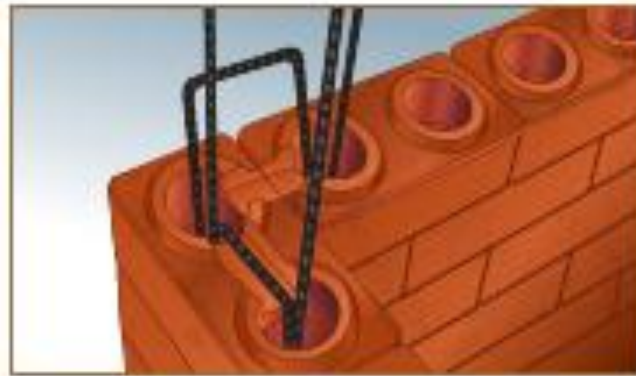
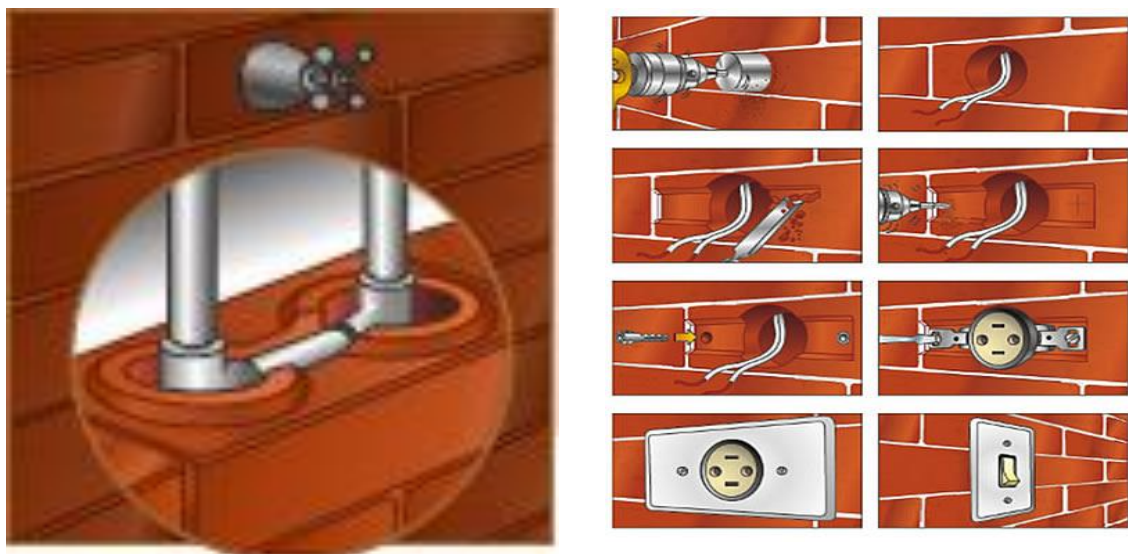


Figura 14 - Interligação da coluna  
Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

Os tijolos ecológicos apresentam inúmeras vantagens, referindo-se que uma delas seja a presença de orifícios, que facilita a passagem de tubos da elétrica e hidráulica. Os registros, canos de esgoto, canos de hidráulica, tomadas, interruptores e quadros de energia, são embutidos na alvenaria conforme a figura 15 (MONTESEUPROJETO, 2011).



(a)

(b)

Figura 15 - a) Canos de Hidráulica b) Tomadas e interruptores

Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

Com a finalização da fase construtiva pode-se dar início ao acabamento. Nesta fase há redução de custos com a utilização do sistema construtivo modular.

“O acabamento final interno e externo deve ser feito com o rejuntamento dos vãos entre os tijolos, que tem o objetivo de tirar a aparência das juntas

de dilatação entre os elementos. A mistura de solo com cimento serve para criar um rejunte natural e relativamente barato, mas pessoas que desejam um acabamento perfeito podem utilizar rejunte comum para pisos. A impermeabilização do tijolo deve ser realizada com aplicação de resina, gesso, textura, tinta ou reboco, entre outras formas de acabamento. O ideal é que o tijolo seja protegido da ação do tempo para evitar o surgimento de patologias. Utilizar o tijolo com efeito aparente pode ser feito com aplicação de tinta ou resina, tanto internamente como externamente, possibilitando uma economia no custo final da obra” (MONTE SEU PROJETO, 2011, não paginado).

### 2.6.2.3 Lajes

As cintas de amarração são formadas por tijolos ecológicos tipo canaleta como mostra a figura 16, por onde passará as barras de aço de 8 mm (CARTILHA ECOPRODUÇÃO, 2011).

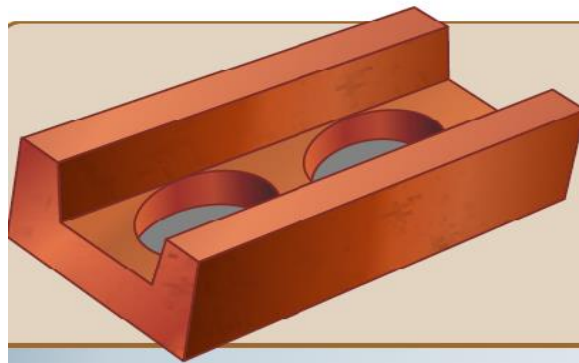


Figura 16 - Tijolo Canaleta  
Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

As cintas devem ser utilizadas a 1 metro de altura com a passagem de uma fiada do tijolo canaleta e 2 ferros que passam por toda alvenaria e amarrados nas colunas da alvenaria (MONTESEUPROJETO, 2011).

Os orifícios que não contenham colunas não deverão ser preenchidos com concreto, pois nos orifícios passam os tubos de elétrica e hidráulica, mantêm a coluna de ar que assiste no isolamento termo acústico ao tijolo e evita a retenção de umidade (PALADINO, 2011).

Para a concretagem do tijolo canaleta é necessário isolar os orifícios como exposto na figura 17, para impedir o vazamento do concreto (CARTILHA ECOPRODUÇÃO, 2011).



(a)

(b)

Figura 17 - a) e b) Isolamento do furo

Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

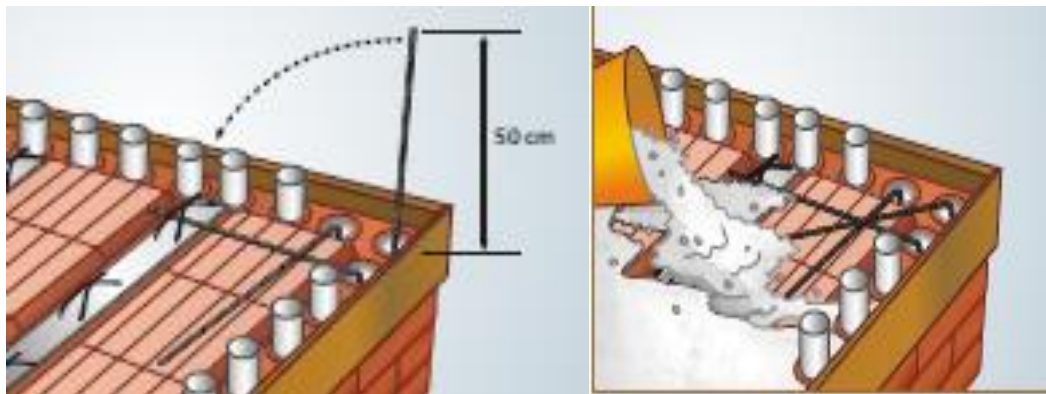
Com as cintas de amarração concluídas, o próximo processo a ser feito é o respaldo da laje. O respaldo da laje é a última fiada de tijolos, ou seja, local de encontro da cinta de amarração com a laje de cobertura que fará a distribuição de esforços (DEMARCHE, 2014).

O respaldo da laje é realizado como nas construções convencionais de acordo com a figura 18, as vigotas são apoiadas nas cintas e são colocados sobre as lajotas ou EPS (isopor). Em relação ao escoramento é similar ao tradicional, usando madeira ou aço (MONTESEUPROJETO, 2011).



Figura 18 - Laje com Lajota  
Fonte: Monte seu Projeto (2011).

O processo de concretagem da laje é equivalente ao tradicional, o concreto é feito com cimento, areia grossa e brita e antes de sobrepôr o concreto na laje deve-se dobrar os ferros das colunas conforme a figura 19 (MONTESEUPROJETO,2011).



(a)

(b)

Figura 19 - a) e b) Concretagem da laje  
Fonte: Cartilha Eco Produção (2011).

## 2.6.3 Vantagens e Desvantagens do Tijolo solo - cimento

### 2.6.3.1 Vantagens

O presente trabalho buscou analisar a eficácia da areia de fundição como um componente do tijolo ecológico, buscando diminuir o impacto que a areia de fundição traz ao meio ambiente e expor os benefícios do tijolo.

O tijolo solo-cimento utilizado no sistema construtivo modular se difere do convencional pelo fato de não ocorrer o processo da queima na sua fabricação, impossibilitando deste modo a liberação de gases e a devastação do meio ambiente. A sua forma modular reduz o tempo de construção e a mão de obra (RIBEIRO,2013).

O sistema modular construtivo possui inúmeras vantagens, que serão expressas a seguir:

- Não há necessidade de passar pelo processo de queima;
- Os tijolos são de perfeito encaixe, logo estabelece uma economia na argamassa;
- As colunas são embutidas para melhor distribuição da carga de peso sobre as paredes;
- Camada de revestimento fina;
- Dispensa o uso excessivo de madeira;
- O tijolo apresenta orifícios em seu interior, onde são formadas câmaras de ar, oferecendo isolamento térmico e acústico;
- Resistência mecânica superior;
- Resiste a força de compressão;
- Canteiro de obra limpo e organizado;
- Redução no uso de ferros;
- Construção mais leve;

- Redução de entulho;
- Redução de tempo na construção;
- Economia no custo da obra e;
- Tempo de construção reduzido.

### **2.6.3.2 Desvantagens**

O tijolo ecológico existe há anos no país, mas a falta de estudo sobre o material traz a desvantagem ao uso. O seu processo produtivo pode influenciar no aparecimento de patologias e falta de mão de obra qualificada para o sistema construtivo, acarreta inúmeros problemas na execução da obra (RIBEIRO, 2013). Algumas desvantagens serão citadas a seguir:

- Alta absorção de umidade;
- Falta de mão de obra qualificada;
- Baixa resistência a impactos e;
- Pequena utilidade em construções.

## **2.7 Exemplos de Aplicação do Solo Cimento**

A aplicação de solo-cimento apresenta-se como grande recurso para minimização de custos na construção, devido à utilização de matéria-prima abundante e de baixo custo (solo), facilidade de produção dos componentes (tijolos, blocos e painéis) e execução das técnicas construtivas. As tecnologias de solo-cimento são de fácil domínio técnico e não exigem um elevado grau de conhecimento especializado da mão-de-obra (MORETT, 2003).

A tabela 3 a seguir descreve alguns exemplos:

Tabela 3 – Aplicações do solo-cimento.

<b>APLICAÇÕES DO SOLO-CIMENTO</b>		
<b>Benfeitoria</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Modo de Utilização</b>
Edificações	Fundação (baldrame ou sapata corrida)	Parede maciça (a cava pode ser utilizada como forma)
	Paredes	Tijolos, blocos ou painéis
	Piso e contrapiso	Pavimento
Passeios ou calçadas	Piso e contrapiso	Pavimento
Pátios	Piso e contrapiso	Pavimento
Ruas e estradas	Base e sub-base	Pavimento
Contenção de encostas	Muro de arrimo	Ensacado
Proteção contra a erosão	Muro de arrimo, revestimento de taludes e encostas	Ensacado
Silo-trincheira	Revestimento dos taludes	Ensacado ou parede maciça
Contenção de córregos e canais (para irrigação, abastecimento)	Revestimento dos taludes	Ensacado ou parede maciça
Pequenas barragens	Dique	Ensacado
Controle de voçorocas	Dique	Ensacado
Cabeceiras de pontes, pontilhões, saídas de galerias	Muro de arrimo	Ensacado

FONTE: Morett (2003).

A figura 20 demonstra alguns dos exemplos de aplicação do tijolo de solo/cimento.



Figura 20 - a) Muros de arrimo e barragens b) Paredes, tijolos, blocos e painéis  
Fonte: O pórtico (2016).

Outras formas de utilização e aplicação:

- Coberturas de telhas e cúpulas de bloco de terra;
- Mobiliários;
- Artefatos de decoração e;
- Pisos prensados intertravados.

A terra proporciona valor expressivo devido a sua plasticidade durante a mistura, permitindo modelar formas orgânicas e libertas da rigidez geométrica de outras formas de manifestações estéticas. A técnica de terra crua é muito utilizada nesse processo. A figura 21 demonstra outros exemplos:



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 21 - a) Lareira feita utilizando terra como matéria prima b) Interior de uma edificação construída com técnica de terra crua c) Edificação construída com a utilização de técnica construtiva de terra crua d) Pisos prensados intertravados  
Fonte: Morett (2003) e Maski Pisos (2016).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Materiais**

- Hexametáfosfato com concentração de 45 g/L;
- Água Destilada e;
- Cimento Portland (CPIII 40RS).

#### **3.2 Equipamentos**

- Becker;
- Balança analítica (Bel Engineering);
- Proveta;
- Densímetro;
- Almofariz;
- Jogo de Peneiras ASTM;
- Corpos de Prova;
- Aparelho de Casagrande e;
- Prensa Servo-hidráulica e Microprocessada para ensaio de Compressão (EMIC - PC200CS).

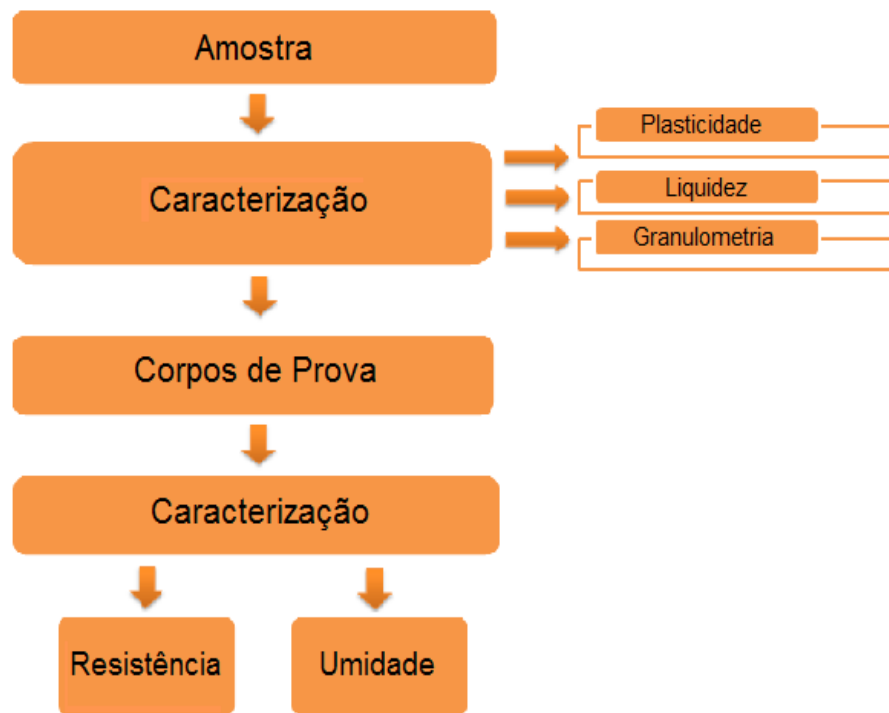


Figura 22 - Fluxograma do processo produtivo

Para o presente estudo o solo utilizado foi extraído de uma jazida localizada na rodovia dos metalúrgicos no município de Volta Redonda e a areia resídua utilizada no processo de fundição veio de uma empresa que atua no segmento na região Sul Fluminense, conforme a figura 23:



Figura 23 - a) Rodovia dos Metalúrgicos Volta Redonda b) Areia de Fundição  
Fonte: Google Earth (2015).

### 3.3 Caracterização das Matérias – Primas

A preparação das amostras seguiu aos padrões estabelecidos pela NBR 6457:1986. Inicialmente os materiais foram secos, em seguida, os grãos foram destorroados e homogeneizados conforme a figura 24:



(a)



(b)

Figura 24 - a) Solo seco b) Solo destorroado

#### 3.3.1 Solo

##### a) Granulometria

Os ensaios granulométricos do solo foram realizados de acordo com a ABNT-NBR 10833:2012, na qual, apresenta as características granulométricas necessárias do solo, para que este possa ser empregado na confecção do solo-cimento com melhor desempenho no consumo de cimento Portland. De forma a executar a análise, os procedimentos adotados seguiram as prescrições da ABNT-NBR 7181:1984 e da NBR 6457:1986 pelo método das peneiras de malha ASTM #10, #20, #30, #40, #50, #100 e #200.

Para dar início ao ensaio, após feito a caracterização da amostra foi utilizado 1Kg do solo, este foi adicionado na peneira superior número #10 (2mm). Após o período de funcionamento do conjunto de peneiras, por 15 minutos, realizaram-se as pesagens determinando a fração contida em cada peneira e no fundo utilizando uma balança analítica conforme a figura 25:



Figura 25 - a) Conjunto de Peneiras b) Balança Analítica

Tais procedimentos foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos do Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA.

## **b) Potencial Hidrogeniônico - Ph**

A determinação do Ph possibilita avaliar o grau de alcalinidade ou acidez do solo analisado. O ensaio realizado para a determinação do Ph é relevante, pois quanto mais ácido for o solo, mais aditivos serão necessários para sua estabilização (MIELI, 2009).

O ensaio da determinação do Ph, realizado em laboratório determina o Ph dos materiais pré-cursors. Para este ensaio foram utilizadas as peneiras de malha ASTM #10 e #20. Após separado uma certa quantidade de solo seco foi adicionado o material na peneira e levado ao agitador por 15 minutos. O material retido na

peneira de malha #20 foi separado, em seguida, adicionou-se água destilada em um Becker junto com a quantidade de solo retido e a mistura foi levada a uma agitação por 30 minutos com rotação de 250rpm. Depois de 30 minutos, por meio do potenciômetro de bancada foi determinado o ph do solo (PORRAS, 2007 *apud* MACHADO; ARAÚJO, 2014).

### **c) Massa Unitária ou Massa Específica Aparente**

A massa unitária determina a relação entre a massa adicionada a um recipiente e o volume desse recipiente (MARCONDES, 2009).

Para este trabalho o ensaio de massa unitária foi realizado em laboratório para a determinação do índice de volume de vazios e para este ensaio foi confeccionado um recipiente com a capacidade de 3 litros.

Com o recipiente em mãos foi feita a pesagem deste vazio, e em seguida realizou-se a pesagem novamente com o recipiente cheio, conforme a figura 26. Após finalizado as pesagens calculou-se a diferença, que foi efetuada através da fórmula (1):

$$d = P2 - P1 \quad (1)$$

Onde:

d- massa unitária

P1- peso do recipiente vazio

P2- peso do recipiente cheio



(a)

(b)

Figura 26 - a) Recipiente vazio b) Recipiente cheio

#### **d) Liquidez**

O limite de liquidez é definido como o teor de umidade, no qual, após o impacto de 25 golpes com o parêlho Casagrande o solo fecha a ranhura. O solo se comporta como um material plástico, ocorrendo à transição entre os estados líquido e plástico (UDESC, 2017).

O processo experimental foi realizado de acordo com as exigências da NBR 6459:1984, em que, retrata o método padronizado por Arthur Casagrande para determinação do limite de liquidez do solo. Em prática, foi adicionado uma amostra do solo já preparado de acordo com a NBR 6457:1986 em um recipiente de porcelana, foi adicionada água até a amostra se homogeneizar.

A amostra foi transferida para a concha do aparelho Casagrande, conforme a figura 27 e com uma espátula alisou-se o solo retirando o excesso. Com o auxílio de um cinzel executou-se uma ranhura no solo, depois de feito a ranhura girou-se a manivela com uma velocidade constante contando o número de golpes necessários para o fechamento da ranhura. No local onde ocorreu o fechamento da ranhura foi coletado a amostra de solo e este material foi depositado em uma cápsula para não

perder a umidade, o conjunto foi pesado após 24 horas para a determinação da umidade (UFBA, 2017).



(a)



(b)



(c)

Figura 27 - a) Aparelho Casagrande b) Amostra na concha c) Amostra com a ranhura.

### e) Plasticidade

O limite de plasticidade é conceituado como o teor de umidade em que o solo deixa seu estado plástico e passa para o estado semi-sólido. É a condição que uma

amostra de solo no estado plástico começa a se fragmentar ao ser moldada na forma de um cilindro de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento com o movimento de rolamento (ALMEIDA, 2004).

O procedimento experimental foi realizado de acordo com as exigências da NBR 7180:1984, em que, retrata o método para determinar o limite de plasticidade do solo. Em prática, previamente foi adicionado uma amostra do solo já preparado de acordo com a NBR 6457:1986 no recipiente de porcelana e foi adicionado água destilada até a amostra se homogeneizar.

Após a homogeneização, utilizou-se uma pequena quantidade deste solo, que foi moldada em forma de um cilindro sobre uma placa de vidro. O movimento de rolamento para a moldagem foi feito até o momento em que esta amostra cilíndrica fissurou-se em pequenos fragmentos, após atingir as dimensões de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento de acordo com o gabarito. Os fragmentos fissurados foram coletados e transferidos para cápsulas, logo foi necessário fazer a pesagem do conjunto e levá-lo a estufa por 24 horas, como exposto na figura 28 (ALMEIDA, 2004).



(a)



(b)

Figura 28 - a) Solo em forma cilíndrica b) Gabarito

Após passar 24 horas foi realizada novamente a pesagem, através da diferença entre os pesos determina-se o teor de umidade.

### 3.3.2 Mistura

#### a) Retração

O ensaio de retração tem por finalidade identificar a presença de argilas expansivas que podem comprometer o comportamento do material a ser analisado, causando fissuras e trincas devido a sua capacidade de absorção de água (FERRAZ; SEGANTINI; WADA, 2004).

Para a execução do mesmo foi construída uma caixa com dimensões de 60 cm de comprimento, 8,5 cm de largura e 3,5 cm de altura, na qual, foi colocada a amostra de solo umedecida até atingir uma consistência plástica. Após o preenchimento manual do solo em toda caixa, o material fica em repouso à sombra durante o período de 7 dias, logo após esse período fez-se a medição no sentido de comprimento da caixa a medida, conforme exposto na figura 29.



Figura 29 - Solo no recipiente

### **3.4 Confeção dos Corpos de Prova**

A produção dos corpos de prova iniciou - se com a preparação da mistura, logo depois realizou-se uma mistura íntima feita a mão com os materiais secos adicionando-se água e, em seguida, o teste de torrão até atingir a umidade ideal.

O teste do torrão, designa-se em confeccionar um bolo de solo na mão e apertar essa porção da mistura nas mãos energicamente, entre os dedos e a palma mão, o torrão deverá ter a marca deixada pelos dedos com nitidez e não poderá se esfarelar com facilidade. Os corpos de prova utilizados possuíam dimensões de 10 cm de altura e 5 cm de diâmetro. Após a compactação e moldagem, os corpos de prova foram encaminhados para cura. A figura 30 demonstra este processo de confecção dos corpos de prova.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 30 - a) Preparação da mistura b) Teste do torrão c) Mistura e confecção dos corpos de prova d) Molde para corpo de prova cilíndrico.

### 3.4.1 Definição do Traço, seleção granulométrica e Percentual de Água

#### a) Ensaio 1

A umidade ideal consiste em uma argamassa ainda desaglomerada aprovada no teste prático do bolo, de acordo com a metodologia adotada por Mieli (2009).

No ensaio 1, os volumes de água correspondiam a 237, 205 e 240 mL, e o traço foi definido de acordo com a tabela 4, passando o solo na peneira ASTM #4. Os resultados do ensaio de compressão obtidos com esses respectivos volumes não foram tão satisfatórios para dar a consistência ideal ao solo, os resultados pertinentes aos ensaios serão discutidos mais adiante em resultados e discussões.

Tabela 4 - Traço do tijolo de solo/cimento

	Solo (%)	Areia (%)	Cimento (%)
A0	90	-	10
A1	80	10	10
A2	70	20	10

FONTE: Autoras.

## b) Ensaio 2

No caso do ensaio 2, os traços A0, A1 e A2 foram os mesmos do ensaio anterior, porém houve uma mudança nas peneiras e uma correção nos volumes. O solo foi peneirado pela peneira de malha ASTM #4, #10 e #20 e os volumes utilizados foram respectivamente 587, 505 e 740 mL de água.

## c) Ensaio 3

No ensaio 3, os traços A0, A1 e A2 também foram mantidos, utilizou-se as mesmas peneiras do ensaio 2 e houve uma correção nos volumes de água, uma vez que, utilizamos uma maior quantidade de solo para este ensaio. O solo foi peneirado pela peneira de malha ASTM #4, #10 e #20 e os volumes utilizados foram respectivamente 1055, 950 e 750 mL de água.

### 3.5 Umidade

O ensaio para a determinação do teor de umidade foi realizado de acordo com as exigências da NBR 6457:1986. O cálculo para obtenção do teor de umidade, expresso em porcentagem, de acordo com a equação (1).

$$h = \frac{P_a}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

onde:

H= umidade do solo

Ps= solo seco

Pa= solo úmido

### 3.6 Compactação

A compactação do solo é um processo pelo qual, suas partículas agrupam-se mais estreitamente, por meio da diminuição de vazios de ar. Um princípio fundamental da mecânica dos solos estabelece que o teor de umidade no momento da compactação é resultante da densidade de um solo compactado. A chamada umidade ótima é atingida quando se adiciona água ao solo, esse processo possibilita que a sua densidade aparente aumente até um certo ponto. Ao se acrescentar teores acima do ótimo a densidade reduz, pois, parte da energia de compactação é redistribuída ao sistema o que faz as partículas sólidas se afastarem com o excesso de água (MIELI, 2009).

Os solos com granulometria desuniformes são ideais, pois os espaços vazios formados pelos grãos maiores são preenchidos pelos grãos menores, pode-se acrescentar outros tipos de solo, para corrigir, quando a granulometria não é adequada (MIELI, 2009).

O solo compactado adquire um novo aspecto, o que afeta consideravelmente suas características mecânicas. As propriedades físico- mecânicas (absorção de água, resistência à compressão e durabilidade) estão profundamente relacionadas a cura (temperatura e umidade) e a compactação, por isso, deve-se realizar um boa compactação com uma umidade ótima (MIELI, 2009).

O solo preparado com os respectivos traços A0, A1 e A2 foram compactados nos moldes cilíndricos com o auxílio de um soquete, conforme a NBR 7182:1986 como exposto na figura 31 e foram utilizados 27 moldes para cada ensaio.



Figura 31 - Compactação dos corpos de prova

### 3.7 Cura

Os tijolos ecológicos adquirem resistência mecânica através da cura. De acordo com Bauer (1994), os tijolos devem ser molhados continuamente, mantendo-se úmidos. As peças devem ser separadas e colocadas em uma superfície horizontal, longe do sol e da chuva.

Para que a água de amassamento e hidratação do tijolo não se dissipe é realizado o processo de cura, é necessário manter a temperatura do material para que o mesmo atinja o nível de resistência esperado (RIBEIRO, 2013).

Foi utilizado a cura por imersão, na qual, os corpos de prova ficaram 24 horas nos moldes em temperatura ambiente, após 24 horas os corpos de prova foram retirados dos moldes e separados por A0, A1 e A2, em seguida, foram colocados em um recipiente com água e permaneceram imergidos por 5 minutos, após esses 5 minutos foram retirados do recipiente e lacrados com plástico para então se realizar o ensaio de compressão. Este processo é evidenciado na figura 32:



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 32 - (a) Corpos de prova com traço A0 b) Corpos de prova com traço A1 c) Corpos de prova com traço A2 d) Corpos de prova imergidos e) Corpos de prova lacrados

### 3.8 Resistência à Compressão

A norma utilizada para o ensaio de compressão foi a NBR 12025:1990. A prensa manuseada para o ensaio é uma prensa hidráulica conforme expõe a figura 33, da marca EMIC com capacidade máxima total de 100.000 kgf e de modelo PC100C. O ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção da UniFOA. Foi realizado o ensaio de compressão a partir do 14º dia, após a cura, foi desprezado o teste com 7 dias pois a resistência nesse período seria muito baixa, no qual, 3 tijolos de cada traço foi empregado para a análise.



Figura 33 – Prensa Hidráulica

Para cada tijolo foi calculado um resultado, dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do mesmo, que no presente trabalho é de 19,63 cm<sup>2</sup> e será exposto mais adiante nos resultados e discussões.

Os valores médios da resistência à compressão devem ser  $\geq 2,0$  Mpa, e os de absorção de água  $\leq 20\%$ . Ainda assim, os valores individuais de cada tijolo devem respeitar o valor  $\geq 1,7$  Mpa para resistência e  $\leq 22\%$  para absorção de água segundo a NBR 10834:1994.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Solo

#### a) Granulometria

Quanto a análise granulométrica, através dos valores acumulados obtidos na pesagem do conjunto de peneiras, foi traçada a curva de distribuição granulométrica para o solo conforme o gráfico 1:

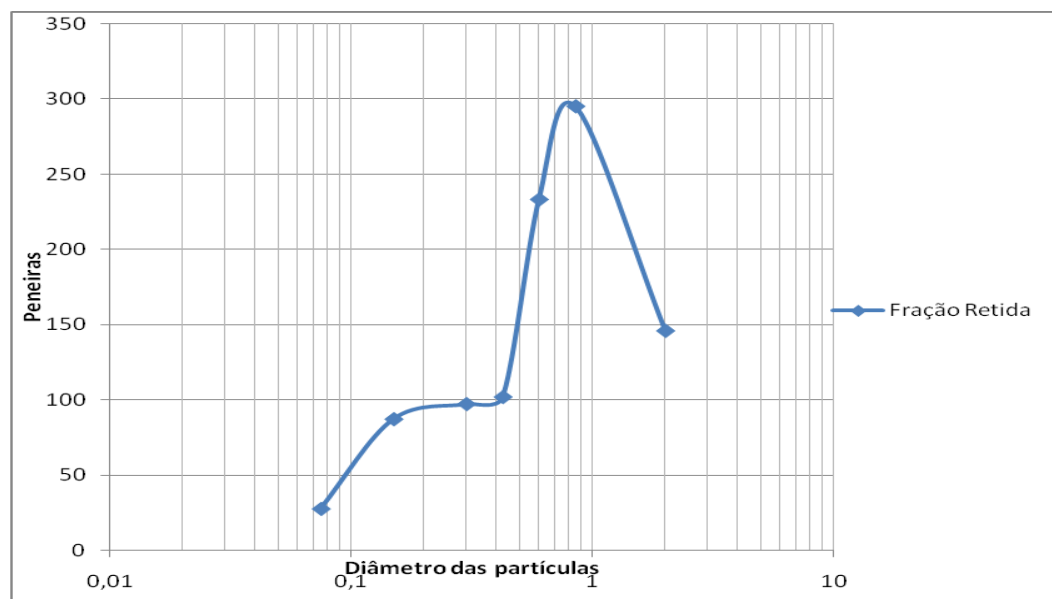


Gráfico 1 - Gráfico da distribuição granulométrica do solo utilizado da Jazida – Rodovia dos metalúrgicos

Tabela 5 - Limite das frações do solo pelo tamanho dos grãos

Fração	Limites
Matacão	de 1mm 200mm
Pedra	de 200mm 60mm
Pedregulho	de 60mm 2,0mm
Areia Grossa	de 2,0mm 0,6mm
Areia Média	de 0,6mm 0,2mm

(continua)

(conclusão)

Fração	Limites
Areia Fina	de 0,2mm 0,06mm
Silte	de 0,06mm 0,002mm
Argila	Inferior a 0,002mm

FONTE: ABNT- NBR 6502:1995

De acordo com os resultados apresentados na curva granulométrica e, conforme a classificação dos solos segundo a NBR 6502:1995, expressa na tabela 5, pode-se observar que 29,52% ficou retido entre 2,0 mm e 0,60 mm classificando-se como areia grossa, 23,33% ficou retido entre 0,60 mm a 0,20 mm classificando-se como areia média, 8,74% ficou retido entre 0,2 mm a 0,06mm classificando-se como areia fina e 1,07% ficou retido no fundo, passante na peneira 0,075 mm, classificando-se como silte. Foi constatado que o solo em questão se encontrava apto para a confecção dos tijolos devido sua classificação ter sido evidenciada majoritariamente como areia média a grossa.

#### **b) Potencial Hidrogeniônico - Ph**

O valor do Ph foi determinado de acordo com o ensaio citado no item 3.3.1 – b. O resultado do Ph obtido de foi de 6,47, ou seja, o Ph do solo é levemente ácido.

#### **c) Massa Unitária ou Massa Específica Aparente**

A massa unitária foi determinada conforme o método citado no item 3.3.1-c, o resultado encontrado foi de 1,04g/cm<sup>3</sup>.

#### d) Liquidez

O limite de liquidez foi realizado de acordo com a NBR 6459:1984. O ensaio apresentou o limite de liquidez igual 40%. Segundo Mieli (2009), as características ideais do solo para a confecção do tijolo de solo cimento deve ser  $\leq 45\%$  para o limite de liquidez, no qual, o solo utilizado atingiu a porcentagem ideal.

#### e) Plasticidade

O limite de plasticidade foi executado conforme a NBR 7180:1984. O resultado atingido para o limite de plasticidade foi igual a 22,44%.

Com o resultado de LL e LP (expressos em porcentagem) é possível determinar o índice de plasticidade do solo (IP), através da expressão 1:

$$IP = LL - LP \quad (1)$$

Onde:

IP = Índice de plasticidade;

LL = Limite de liquidez;

LP = Limite de plasticidade.

Os resultados obtidos para esta amostra seguem na tabela 6:

Tabela 6 – Resultados Finais

<b>Resultados</b>	
Limite de Liquidez	<b>40,0 %</b>
Limite de Plasticidade	<b>22,44 %</b>
Índice de Plasticidade	<b>17,56 %</b>

Este solo é considerado altamente plástico, pois o seu índice de plasticidade foi maior que 15 %, conforme a tabela 7:

Tabela 7 – Classificação do Solo de acordo com IP

IP	Classificação
1 – 7	Fracamente Plástico
7 – 15	Medianamente Plástico
> 15	Altamente Plástico

FONTE: Caputo (1988).

De acordo com a NBR10833:1989 para produzir tijolos de solo-cimento considera-se solos com limite de liquidez  $\leq 45\%$  e índice de plasticidade  $\leq 18\%$ , o material em análise apresenta valores de 40,0% para limite de liquidez e 17,56% para índice de plasticidade, considerados de acordo com a norma aptos para a confecção dos tijolos.

## 4.2 Areia de Fundição

### a) Granulometria

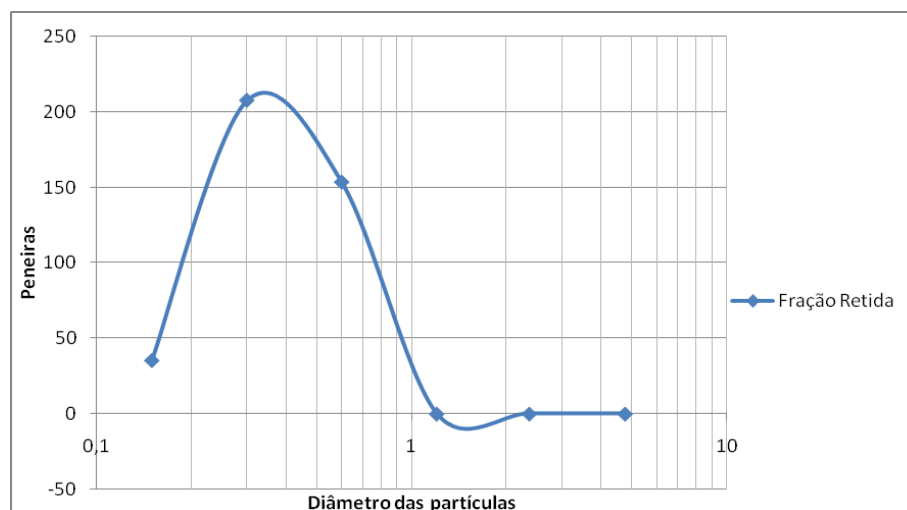


Gráfico 2 - Gráfico da distribuição granulométrica da areia residual de fundição

De acordo com os resultados apresentados na curva granulométrica e, conforme a classificação dos solos segundo a NBR 6502:1995, expressa na tabela 5, pode-se observar que 41,55% ficou retido entre 2,0 mm e 0,60 mm classificando-se como areia grossa, 17,33% ficou retido entre 0,60 mm a 0,20 mm classificando-se como areia média, 7,11% ficou retido entre 0,2 mm a 0,06mm classificando-se como areia fina e 0,67% ficou retido no fundo, passante na peneira 0,075 mm, classificando-se como silte. Foi constatado que o solo em questão se encontrava apto para a confecção dos tijolos devido sua classificação ter sido evidenciada majoritariamente como areia média a grossa.

#### **b) Potencial Hidrogeniônico - Ph**

O valor do Ph foi determinado de acordo com o ensaio citado no item 3.3.1 – b. O resultado do Ph obtido de foi de 7,48, ou seja, o Ph da areia de fundição é de neutro para básico.

#### **c) Massa Unitária ou Massa Específica Aparente**

A massa unitária foi determinada conforme o método citado no item 3.3.1-c, o resultado encontrado foi de 1,56 g/cm<sup>3</sup>.

### **4.3 Mistura**

#### **a) Retração**

O resultado do ensaio de retração segue conforme exposto na figura 34:



Figura 34 - Ensaio de Retração Linear dos Traços Solo, A0, A1 e A2 após secagem de 7 dias.

Na Tabela 8 são apresentados os valores obtidos nos ensaios de retração linear.

Tabela 8 – Resultado ensaio de Retração

Traço	Retração Linear (mm)
Solo Puro	58,89
A0	18,31
A1	19,95
A2	15,30

De acordo com CEPED (1984), para que a confecção de tijolo de solo/cimento seja viável, as fendas existentes entre o solo e as paredes da caixa devem ser inferior a 20 mm e o solo não deve apresentar nenhuma fenda transversal. De acordo com resultados da tabela 8, o traço Solo puro não seria apropriado para a confecção dos tijolos. No entanto os traços A0, A1 e A2 seriam apropriados para a confecção dos tijolos.

#### 4.4 Resistência à Compressão

##### a) Ensaio 1

Segundo a NBR 12025:1990, o valor médio da resistência a compressão dos tijolos analisados deve ser no mínimo igual à 2 MPa e para valores individuais  $\geq 1,7$  Mpa aos 28 dias de idade, como já foi dito anteriormente.

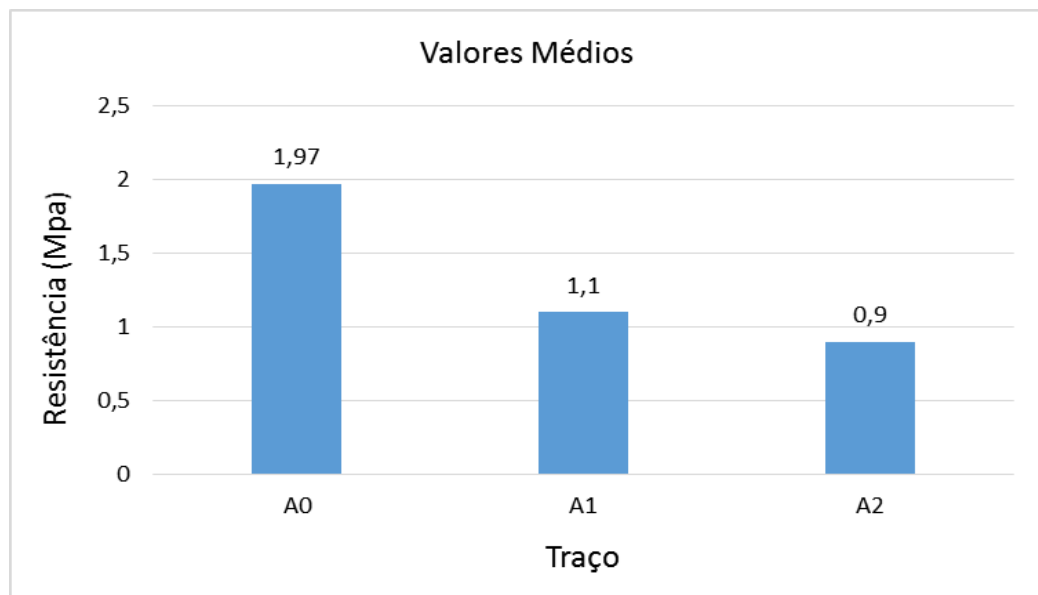


Gráfico 3 – Valores médios do ensaio de compressão do ensaio 1

Os valores encontrados aos 28 dias de cura demonstram-se inferiores como expõe o gráfico 3, ao estabelecido pela ABNT NBR 10834:1994, que preconiza 2 Mpa para valores médios. Tais resultados desfavoráveis estão correlacionados ao baixo teor de água utilizado, bem como ao processo de cura adotado. Entretanto, tais procedimentos tiveram continuidade no ensaio 2, visto que os materiais possuem excelentes características para a confecção de solo- cimento.

## b) Ensaio 2

Os ensaios de compressão referentes ao ensaio 2 foram realizados nos dias 03/09/2016, 10/09/16 e 17/06/2016 no laboratório de mecânica dos solos da UniFOA.

DADOS DA AMOSTRA	RESULTADOS					
	Carga de Ruptura (KN)			Resistência (Mpa)		
	14 dias	21 dias	28 dias	14 dias	21 dias	28 dias
MÉDIAS						
A0	8,2 KN	3,02 KN	9,06 KN	4,2 Mpa	3 Mpa	3 Mpa
A1	3,0 KN	4,87 KN	6,3 KN	3,64 Mpa	4,4 Mpa	3,21 Mpa
A2	4,76 KN	8,2 KN	11,02 KN	3,64 Mpa	4,18 Mpa	5,61 Mpa

Quadro 1 – Resultados do ensaio de compressão do ensaio 2

O menor resultado foi obtido pelo traço A0, que obteve uma resistência de 3,0 Mpa aos 21 dias.

O traço A1 foi o único que obteve uma queda na sua variação sendo nos primeiros 14 dias, uma resistência de 3,64 Mpa, em seguida, aos 21 dias passou para uma resistência de 4,4 Mpa e aos 28 dias essa resistência diminuiu encerrando com 3,21 Mpa.

O traço A2, a sua resistência aos 14 dias foi a mais baixa, mas aos 21 e 28 dias essa resistência aumentou significativamente sendo o melhor traço para confecção dos tijolos, esse resultado significativo está atribuído ao fato de ter ocorrido uma correção granulométrica, ou seja, o solo passou na peneira #4 #10 e #20, houve também a correção do percentual de água e uma boa compactação.

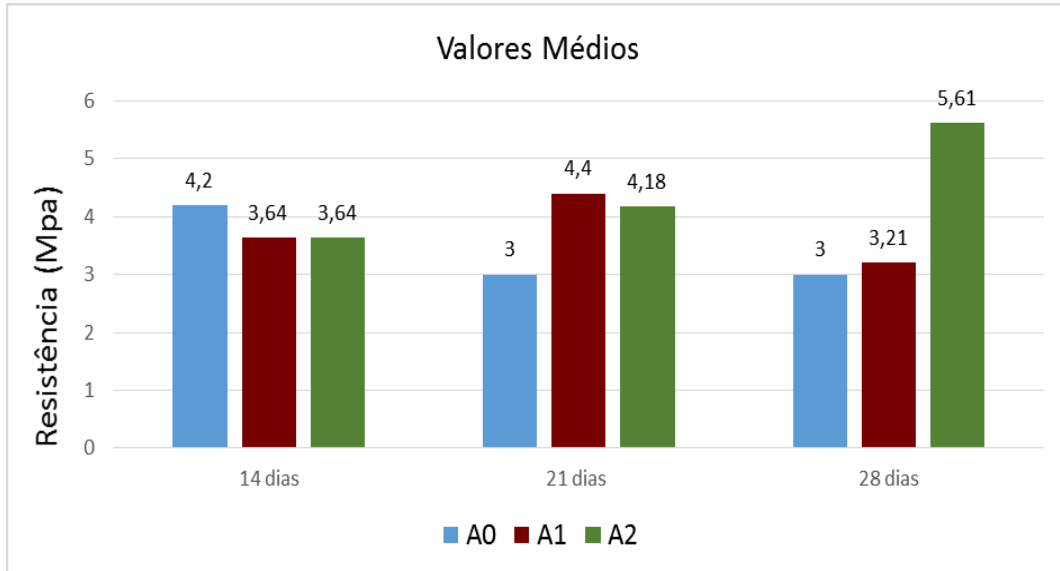


Gráfico 4 - Valores médios do ensaio de compressão do ensaio 2

No geral, os resultados foram satisfatórios, já que os valores observados obtiveram uma resistência acima da estabelecida na norma para valores médios.

### c) Ensaio 3

Os ensaios de compressão para o ensaio 3 foram realizados nos dias 06/04/2017, 13/04/17 e 20/04/2017 no laboratório de mecânica dos solos da UniFOA.

DADOS DA AMOSTRA	RESULTADOS					
	Carga de Ruptura (KN)			Resistência (Mpa)		
	14 dias	21 dias	28 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Amostra	MÉDIAS					
A0	8 KN	10,6 KN	10,4 KN	4,0 Mpa	5,47 Mpa	5,27 Mpa
A1	3,0 KN	5,25 KN	6,08 KN	1,54 Mpa	2,67 Mpa	3,19 Mpa
A2	1,87 KN	3,42 KN	5,04 KN	0,95 Mpa	1,74 Mpa	2,57 Mpa

Quadro 2 – Resultados dos ensaios de compressão do ensaio 3.

Com base nos resultados do Quadro 2, o menor resultado foi obtido pelo traço A2 que rompeu com uma carga de 1,87 KN obtendo uma resistência de 0,95 Mpa aos 14 dias.

O traço A0 foi o único que obteve uma queda em sua variação sendo nos primeiros 14 dias uma resistência de 4,0 Mpa, em seguida, aos 21 dias passou para uma resistência de 5,47 Mpa e aos 28 dias essa resistência diminuiu encerrando com 5,27 Mpa. O traço A2 obteve menor resistência aos 14 dias, porém houve um aumento da resistência até completar os 28 dias.

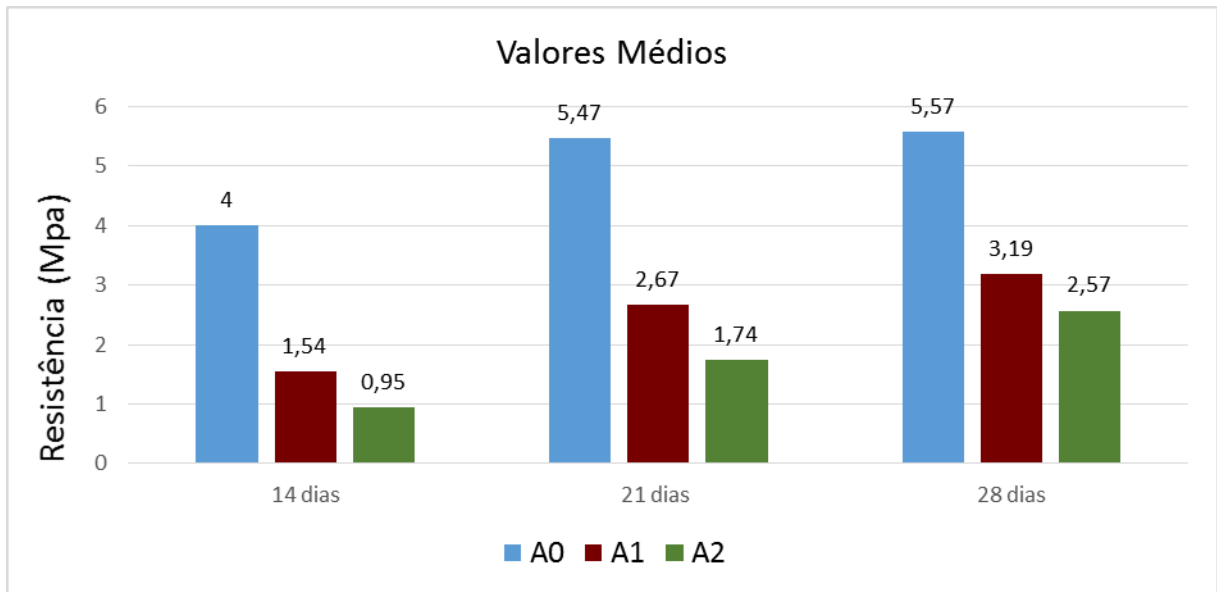


Gráfico 5 - Valores médios do ensaio de compressão do ensaio 3

De acordo com os resultados, os traços A1 e A2 obtiveram as resistências mais baixas mas aos 28 dias todos os traços obtiveram valores maiores que 2 Mpa. O traço A0, obteve o melhor resultado devido a compactação, já os traços A1 e A2 tiveram resistências inferiores devido a uma ferramenta utilizada para compactação destes traços, que pode ter influenciado nos resultados conforme expõe a figura 35:



Figura 35 - Ferramenta utilizada para compactação

#### 4.5 Umidade

A umidade foi determinada conforme o método citado no item 3.5, o resultado encontrado foi de 10,1%.

#### 4.6 Absorção de Água

O ensaio de absorção de água foi executado de acordo com a NBR 8492/84. Para a realização do ensaio de absorção de água, foi utilizado dois corpos de prova, cada um correspondendo a um tipo de traço. As amostras foram secas em estufa, em 105°, depois pesadas adquirindo-se a massa  $M^1$ . Após realizado as pesagens, as amostras foram imersas em um recipiente com água por 24 horas. Depois de 24 horas as amostras foram retiradas da água e enxugadas superficialmente e pesadas, resultando assim a massa das amostras saturadas  $M^2$ .

A obtenção dos valores individuais de absorção de água, expresso em porcentagem, foi calculado de acordo com a expressão (2) e os resultados estão representados na tabela 9:

$$A = \frac{M^2 - M^1}{M^1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A= absorção de água.

M<sup>1</sup>= massa da amostra seca em estufa.

M<sup>2</sup>= massa da amostra saturada.

Tabela 9 - Resultados individuais do ensaio de absorção de água aos 21 dias.

<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA 21 dias</b>				
Amostra	Tipo de amostra	M <sup>1</sup> (g)	M <sup>2</sup> (g)	A(%)
A0	Corpo de prova	96,64	122,63	26,89%
A1	Corpo de prova	80,66	102,16	26,66%
A2	Corpo de prova	79,12	101,50	28,30%

O valor médio de absorção de água deve ser ≤ 20% e para os valores individuais deve ser ≤ 22% segundo a NBR 10834:1994.

Para este ensaio foi utilizado o corpo de prova com as dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de comprimento. De acordo com os resultados obtidos na tabela 9, foi analisado que os traços aos 21 dias não atenderam o valor individual estabelecido pela NBR 10834/94 devido à compactação.

Já para o ensaio de absorção de água aos 28 dias os resultados foram os seguintes:

Tabela 10 - Resultados individuais do ensaio de absorção de água aos 28 dias.

<b>ABSORÇÃO DE ÁGUA 28 dias</b>				
Amostra	Tipo de amostra	M <sup>1</sup> (g)	M <sup>2</sup> (g)	A(%)
A0	Corpo de prova	1074,30	1156,27	7,63%
A1	Corpo de prova	2119,80	2262,62	6,73%
A2	Corpo de prova	1991,0	2131,98	7,10%

O valor médio de absorção de água deve ser  $\leq 20\%$  e para os valores individuais deve ser  $\leq 22\%$  segundo a NBR 10834:1994.

Para este ensaio foi utilizado corpos de prova com as dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de comprimento. De acordo com os resultados obtidos na tabela 10, foi analisado que todos os traços atenderam o valor individual estabelecido pela NBR 10834/94, ou seja, houve uma compactação correta.

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com o que foi exposto inicialmente neste trabalho, os objetivos desta pesquisa é analisar a viabilidade do tijolo de solo/cimento, sua relação com questões de sustentabilidade na construção civil e demonstrar sua utilização no sistema construtivo modular.

Desta maneira, as principais conclusões são:

I. O reuso da areia de fundição diminuiria os resíduos sólidos lançados no meio ambiente.

II. Há uma economia de materiais no processo construtivo com tijolos ecológicos.

III. O tijolo ecológico não é apenas utilizado para construção de alvenaria, é aplicado também em outros tipos de construções como por exemplo passeios e calçadas.

IV. Por meio da análise granulométrica por peneiramento realizada com o solo e a areia de fundição, analisou-se que a areia se identifica como areia média a grossa.

V. De todos os traços e ensaios analisados, o melhor resultado foi o produzido pelos traços A0 e A2, que obtiveram os traços de 90% de solo e 10% de cimento e 70% de solo, 20 % areia e 10% de cimento respectivamente.

Toda pesquisa experimental deve seguir os preceitos estabelecidos pela norma para a sua execução, porém na sua execução, pode ocorrer fatores que intervêm no seu desenvolvimento e acabam por influenciar nos resultados finais.

No presente trabalho, ocorreram variações das resistências nos diferentes traços, fato que pode ter sido influenciado pelo procedimento de cura utilizado, compactação que, é um fator que influencia bastante, visto que os corpos de prova devem receber a mesma força, e até mesmo a umidade do ar pode influenciar.

Mesmo com variações nos resultados, os tijolos de solo/cimento com areia de fundição estão aptos para serem utilizados, pois obtiveram resistências acima de 2 Mpa que de acordo com a NBR 12025:1990 preconiza para valores médios no mínimo igual a 2 Mpa.

No ensaio 1, os valores não foram satisfatórios pois o solo utilizado só passou pela peneira ASTM #4, já os ensaios 2 e 3 o solo passou pela peneira ASTM #4 #10# 20. E o volume de água utilizado nos ensaios 2 e 3 foram maiores.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para um entendimento mais abrangente do comportamento dos tijolos de solo/cimento utilizados os seguintes estudos são sugeridos:

- Realizar o ensaio de sedimentação, que juntamente com o ensaio de peneiramento compõem a análise granulométrica do solo;
- Utilizar outros resíduos de construção para compor a matriz de tijolos de solo/cimento;
- Para uma análise estatística mais apurada, confeccionar mais corpos de prova;
- Realizar uma análise do custo de fabricação;
- Realizar a caracterização do solo com ensaios de difração de raio – X e MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura).

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. 7 Ed. São Paulo, 2002. Disponível em: [http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/cms/wp-content/uploads/2016/05/BT106_2003.pdf). Acesso em: 25 out 2016.

ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Disponível em: <[http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA\\_SOLOS.pdf](http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf)> Acesso em: 29 jan. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12672**: Areia padrão para ensaios de fundição. Rio de Janeiro, 1992.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Preparação das amostras de Solo e ensaio de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 65002**: Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo Maciço de Solo-Cimento – Determinação da Resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834**: Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**: Solo cimento – Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024**: Solo Cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459**: Determinação do Limite de Liquidez de Solos. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Determinação do Limite de Plasticidade de Solo. Rio de Janeiro, 1984.

BAUER, Falcão. **Materiais de construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994.

BIOBLOC. **Tijolos Ecológicos**. Disponível em: <<http://biobloctijolosecológicos.blogspot.com.br/p/processo-construtivo.html>>. Acesso em: 24 out.2016.

CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações**. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo.pdf>>. Acesso em 30 mar 2017.

CARTILHA ECOPRODUÇÃO. **Cartilha Tijolo Ecológico/Modular Manual prático**. Disponível em: <<http://www.ecoproducao.com.br/downloads/cartilha-ecoproducao.pdf>> Acesso em:19 out. 2016.

CASTRO, Flávia Lages *et al.* **Manual UniFOA para realização de trabalhos acadêmicos**. 2. Ed. Volta Redonda, 2009.

DERMACHE, Juliano. **Fiada de respaldo**. Disponível em: <<http://www.qjbuilder.com.br/qjalvenaria/fiada-de-respaldo-no-qjalvenaria/>> Acesso em: 25 out. 2016.

FAGUNDES, Alexandre Borges; SILVA, Maclovia Corrêa da. **Ciência, Tecnologia e Ambiente: Normas e Regulamentações para Areias Descartadas de Fundação (ADF)**. Disponível em: <[http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/grupos/tema/84ciencia\\_ta\\_areias\\_descart.pdf](http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/grupos/tema/84ciencia_ta_areias_descart.pdf)>. Acesso em: 30 mar 2017.

FERNANDES, Maria Da Paz Medeiros. **Apreciação de Boas Práticas visando a Geração de Um Modelo para a Gestão Municipal dos Resíduos da Construção Civil**. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/77644/000894187.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 mar 2017.

FERRAZ, André Luiz Nonato; SEGANTINI, Antônio Anderson da Silva. **Engenharia Sustentável: aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento**. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000100052&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022004000100052&script=sci_arttext)>. Acesso em: 20 out 2016.

FIESP, Agência Indusnet. **Levantamento inédito mostra déficit de 6,2 milhões de moradias no Brasil.** Disponível em: < <http://www.fiesp.com.br/noticias/levantamento-inedito-mostra-deficit-de-62-milhoes-de-moradias-no-brasil/>> Acesso em: 17 mar. 2017.

FIGUEIROLA, Valentina. **Alvenaria de Solo-cimento.** Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/85/artigo286284-1.aspx>> Acesso em: 24 out.2016.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GRANDE, Fernando Mazzeo. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** Disponível em:<<http://www.maquinasfix.com.br/imglayout/pdf/tese-solo-cimento.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2016.

INDÚSTRIA ECO MÁQUINAS. **Construção Ecológica.** Disponível em :< <https://ecomaquinas.com.br/index.php/construcao-ecologica-primeira-fiada>>. Acesso em: 21mar. 2017.

LINS, Fernando Freitas; LUZ, Adão Benvindo da. **Areia Industrial.** Disponível em:<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1041/05.AREIA%20INDUSTRIAL%20ok.pdf?sequence=3> Acesso em:09 mar 2017.

MACHADO, Amanda Ozório; ARAÚJO, Joice Andrade de. **Avaliação de Tijolos Ecológicos Compostos por Lodo de Eta e Resíduos da Construção Civil.** Disponível em: < <http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos14/41220411.pdf>> Acesso em: 19 mar. 2017.

MARCO, Antônio. **Solo-cimento e suas aplicações.** Disponível em :<<http://oportico.blogspot.com.br/2016/01/solo-cimento-e-suas-aplicacoes.html>>. Acesso em: 19 mar. 2017.

MARCONDES, Carlos Gustavo. **Peso, massa ou densidade?.** Disponível em: < <http://www.cimentoitambe.com.br/peso-massa-ou-densidade/>> Acesso em: 12 mar. 2017.

MASKI PISOS E REVESTIMENTOS ESPECIAIS. Disponível em:[https://www.google.com.br/search?q=intertravados+ou+intertravados&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi8isWWieTSAhUJEpAKHWvKBFUQ\\_AUIBygC&biw=1366&bih=662#tbm=isch&q=%E2%80%A2%09Pisos+prensados+intertravados&\\*&imgcr=LF9Yetz6Yh\\_LwM](https://www.google.com.br/search?q=intertravados+ou+intertravados&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi8isWWieTSAhUJEpAKHWvKBFUQ_AUIBygC&biw=1366&bih=662#tbm=isch&q=%E2%80%A2%09Pisos+prensados+intertravados&*&imgcr=LF9Yetz6Yh_LwM)>. Acesso em: 30 jan. 2017.

MATOS, Stelvia Vigolvino; SCHALCH, Valdir. **Alternativas de Minimização de resíduos da Indústria de Fundição.** Disponível em:<<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/fundicao.pdf>>. Acesso em:15 ago. 2016.

MIELI, Priscilla Henriques. **Avaliação do tijolo modular de solo – cimento como material na construção civil.** Disponível

em:<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10003721.pdf>> Acesso em: 19 out. 2016.

MOLDES MACHO. Disponível em:<[https://www.google.com.br/search?q=macho+moldes&biw=1360&bih=643&tbnisch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiKmeLY3b\\_QAhWBIZAKHbmCDOIQsAQIGg#imgrc=XDn0v2mOI37jdM%3A](https://www.google.com.br/search?q=macho+moldes&biw=1360&bih=643&tbnisch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwiKmeLY3b_QAhWBIZAKHbmCDOIQsAQIGg#imgrc=XDn0v2mOI37jdM%3A)>. Acesso em: 24 out. 2016.

MONTESEUPROJETO. **Sistema Construtivo–Tijolo Ecológico parte 2.** Disponível em:<<http://www.monteseuprojeto.com.br/sistema-construtivo-%E2%80%93-tijolo-ecologico-parte-2/>>. Acesso em: 24 out. 2016.

MORETT, Henrique Thomaz. **A importância da inserção dos sistemas construtivos de solo-cimento no processo de industrialização da construção.** Disponível em:<[http://www.poli.ufrj.br/leeamb/Arquivos\\_para\\_Download/Dissertacao\\_Henrique\\_Thomas\\_Morett.pdf](http://www.poli.ufrj.br/leeamb/Arquivos_para_Download/Dissertacao_Henrique_Thomas_Morett.pdf)>. Acesso em: 19 mar. 2017.

OLIVEIRA, Bruno Ferraz. **Fundição.** Disponível em:<[http://estudio01proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico\\_metalurgica/fundicao.pdf](http://estudio01proj.ufsm.br/cadernos/ifpa/tecnico_metalurgica/fundicao.pdf)>. Acesso em: 15 ago 2016.

O PÓRTICO. Disponível em: <<http://o-portico.blogspot.com.br/2016/01/solo-cimento-e-suas-aplicacoes.html>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

PALADINO. **Tijolo Ecológico.** Disponível em: <<http://paladinobr.blogspot.com.br/2011/04/tijolo-ecologico.html>> Acesso em: 27 out. 2016.

PORTELA, Wagner. **Construindo e ampliando com Tijolo Solo-cimento/ Ecológico.** Disponível em:<<http://www.tijolosolocimento.com.br/2013/06/cintas-e-percintas.html>> Acesso em: 24 out. 2016.

RIBEIRO, Lincoln Ronyere Cavalcante. **Processo de produção e viabilidade do tijolo modular de solo-cimento na construção civil no estado do RN.** Disponível em:<<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TCC%20-%20BCT/TCC-%20LINCOLN%20RONYERE%20CAVALCANTE%20RIBEIRO.pdf>> Acesso em: 24 out. 2016.

RIBEIRO, Valéria Simone. **Reutilização de resíduo de rocha ornamental na produção de tijolo solo-cimento.** Disponível em:<<http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-demateriais/wpcontent/uploads/sites/2/2013/07/Disserta%C3%A7%C3%A3oSimoneVal%C3%A9ria-Ribeiro-vers%C3%A3o-final.pdf>> Acesso em: 11 fev. 2017.

REINERT, Dalvan José; REICHERT, José Miguel. **Propriedades física do solo.** Disponível em:<[https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An\\_lise\\_da\\_zona\\_n\\_o\\_saturada\\_do\\_solo\\_\\_texto.pdf](https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf)> Acesso em: 19 out. 2016.

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA- UDESC. Centro de Ciências Tecnológicas – CCT LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS SOLOS. **Limites de Liquidez e Plasticidade.** Disponível em:<<http://www.joinville.udesc.br/portal/departamentos/dec/labmes/arquivos/Roteiro%20-%20ENSAIO%20LIMITE%20DE%20LIQUIDEZ%20E%20PLASTICIDADE.pdf>> Acesso em: 18 jan. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA- UFBA. Escola Politécnica. **Limite de Liquidez.** Disponível em:<<http://www.geotecnia.ufba.br/?vai=Extens%E3o/Ensaios%20de%20Laborat%F3rio/Limites%20de%20Atterberg/Limite%20de%20Liquidez>>. Acesso em 30 jan. 2017.