



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DAS CONSTRUÇÕES E ESTRUTURAS

GIOVANNE RAFAEL DE OLIVEIRA

**UTILIZAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO
CIVIL: uma abordagem econômica e ambiental.**

São Luís
2017

GIOVANNE RAFAEL DE OLIVEIRA

**UTILIZAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO
CIVIL: uma abordagem econômica e ambiental.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva.

São Luís
2017

Oliveira, Giovanne Rafael de.

Utilização do tijolo ecológico solo-cimento na construção: uma abordagem econômica e ambiental / Giovanne Rafael de Oliveira. - São Luis, 2017.

74 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva.

1. Tijolo Ecológico. 2. Solo-Cimento. 3. Alvenaria. I. Título.

CDU 666.712:502.131.1

GIOVANNE RAFAEL DE OLIVEIRA

UTILIZAÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO NA CONSTRUÇÃO

CIVIL: uma abordagem econômica e ambiental.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em 14/12/17

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Jorge de Jesus Passinho e Silva (Orientador)
Mestre em Educação - IPLAC
Universidade Estadual do Maranhão

Prof.^a Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho (Coorientadora)
Doutora em Urbanismo – UFRJ
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Luciano Carneiro Reis
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Iêdo Alves de Souza
Doutor em Química dos Materiais - UNESP
Universidade Estadual do Maranhão

Dedico ao mundo.

“Revolucionário é todo aquele que quer mudar o mundo e tem a coragem de começar por si mesmo”.

Sergio Vaz

RESUMO

O presente trabalho analisa a viabilidade, no aspecto econômico e ambiental, de aplicação dos blocos de solo-cimento nas construções populares, explanando suas diversas vantagens em relação ao tijolo cerâmico convencional. Foi elaborada uma revisão bibliográfica do tijolo ecológico referente a artigos, estudos de graduação e sites de empresas do ramo publicados nos últimos anos. A partir dessa revisão, foram discorridos de forma sucinta os materiais componentes do tijolo ecológico e como eles devem ser selecionados e arrançados para a produção. Após ser apresentada a sua simples e sustentável forma de produção, foi comentado sobre o Sistema Construtivo Modular, inovação técnica usufruída no processo construtivo da alvenaria ecológica. Foi utilizado o projeto de construção de uma casa popular (localizada em Panaquatira, São Luís-MA) para elaboração de um comparativo de custo, composto por dois orçamentos em modelo analítico: um considerando a alvenaria do projeto sendo realizada por tijolos cerâmicos convencionais e outro considerando tijolos ecológicos de solo-cimento. A partir desse comparativo, notou-se que a alvenaria ecológica apresentou uma economia de 22% em relação à alvenaria convencional. Por fim, para reforçar ainda mais a importância do tijolo ecológico como alternativa à cultura de utilização do tijolo convencional, foi realizada, por meio de dados coletados em estudos, uma breve análise dos impactos ambientais causados pelas olarias de tijolos convencionais e fábricas de tijolos solo-cimento, comprovando os discrepantes dados que apontam a fabricação do tijolo solo-cimento como mais sustentável.

Palavras-Chave: Tijolo ecológico. Solo-cimento. Orçamentos. Impactos ambientais. Olarias.

ABSTRACT

The present work analyzes the feasibility, in the economic and environmental aspects, of the application of soil-cement blocks in the popular constructions, explaining its several advantages in relation to the conventional ceramic brick. A bibliographic review of the ecological brick related to articles, undergraduate studies and sites of companies of the branch published in the last years was elaborated. Based on this review, the component materials of the ecological brick were briefly discussed and how they should be selected and arranged for production. After presenting its simple and sustainable form of production, it was commented on the Modular Construction System, technical innovation enjoyed in the construction process of the ecological masonry. It was used the construction project of a popular house (located in Panaquatira, São Luís-MA) to elaborate a cost comparison, composed of two budgets in an analytical model: one considering the masonry of the project being carried out by conventional ceramic bricks and another considering ecological-soil-cement bricks. From this comparison, it was noticed that the ecological masonry presented an economy of 22% in relation to the conventional masonry. Finally, in order to further reinforce the importance of creating an alternative to the culture of using conventional brick, a brief analysis of the environmental impacts caused by conventional brick pottery and brick factories demonstrating the discrepant data that point to the production of soil-cement brick as more sustainable.

Keywords: Ecological bricks. Soil-cement. Budgets. Environmental impacts. Pottery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Aparelho de Casagrande e ranhura em amostra de solo.	20
Figura 2 – Cilindro quebradiço de solo com aproximadamente 1,5mm de raio	21
Figura 3 – Desenho representativo do Teste de Caixa	22
Figura 4 – Desenho esquemático representando os três perfis do solo	23
Figura 5 – Componentes do tijolo solo-cimento	25
Figura 6 – Proporção de solo, cimento e água na mistura de solo-cimento	25
Figura 7 – Diferentes tipos de utilização do tijolo de solo cimento	28
Figura 8 – Tijolo Modular Padrão	29
Figura 9 – Alvenaria com Tijolo Modular Padrão	29
Figura 10 – Meio Tijolo Modular Padrão.....	29
Figura 11 – Alvenaria com meio Tijolo Modular Padrão	29
Figura 12 –Tijolo Canaleta Modular Padrão	30
Figura 13 – Cimentação de reforço em alvenaria de Tijolo Canaleta Modular Padrão	30
Figura 14 – Tijolo Maciço Modular Padrão	30
Figura 15 – Balcão com Tijolo Maciço Modular Padrão	30
Figura 16 – Trinca em corpo de prova de solo-cimento sob o ensaio de compressão simples.....	32
Figura 17 – Solo com Torrões	33
Figura 18 – Triturador ou destorrador	33
Figura 19 – Peneira manual..	34
Figura 20 – Peneira rotativa.....	34
Figura 21 – Solo após trituração e peneiramento.	34
Figura 22 – Gráfico representativo para a determinação da umidade ótima.	35
Figura 23 – Processo prático para verificar a umidade de mistura.....	36
Figura 24 – Máquina manual de tijolos ecológicos solo-cimento modular.....	37
Figura 25 – Máquina Hidropneumática de tijolos de solo-cimento (modelo Multifuncional HPII).	37
Figura 26 – Tijolos sendo umedecidos após seis horas de prensados	38
Figura 27 – Tijolo Modular “Padrão”	38

Figura 28 – Elementos do sistema hidráulico instalados entre os furos do Tijolo Modular	39
Figura 29 – Canto de alvenaria grauteado	40
Figura 30 – Alvenaria de casa popular com Tijolo Modular exposto	40
Figura 31 – Primeira fiada no assentamento do Tijolo.....	41
Figura 32 – Aplicação de cola de argamassa durante o assentamento do Tijolo Modular... ..	41
Figura 33 – Ferros longitudinalmente fixados após a primeira fiada da alvenaria modular.....	42
Figura 34 – Grampos instalados na união de colunas, a cada 50 cm	42
Figura 35 – Fiada de canaleta modular grauteada com vergalhões devidamente dispostos	43
Figura 36– Desenho esquemático da malha estrutural do sistema construtivo modular.....	43
Figura 37– Casa popular com alvenaria ecológica.....	44
Figura 38 – Casa pequena com alvenaria de tijolo ecológico	44
Figura 39 – Cozinha de casa com alvenaria ecológica.....	45
Figura 40 – Casa com dois pavimentos de alvenaria ecológica	45
Figura 41 – Corte de perspectiva isométrica.	46
Figura 42 - Alvenaria total em perspectiva isométrica.....	47
Figura 43 – Aspectos que relacionam o desenvolvimento sustentável com a construção civil.....	53
Figura 44 - Ciclo aberto de um produto	55
Figura 45 – Fluxograma de etapas do processo de produção do tijolo convencional cerâmico.....	57
Figura 46 – Fluxograma representativo dos pontos descartados no processo de fabricação do tijolo solo-cimento.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação granulométrica de um solo	19
Tabela 2 – Tipos, dimensões e características de tijolos solo-cimento produzidos no Brasil.....	31
Tabela 3 – Limites definidos pela ABNT para tijolos de solo-cimento.	32
Tabela 4 – Dimensões geométricas das vigas e pilares pré-dimensionadas no projeto.	48
Tabela 5 – Planilha orçamentária para execução de alvenaria convencional cerâmica.	49
Tabela 6 – Planilha orçamentária para execução de alvenaria ecológica de solo-cimento.	51
Tabela 7 – Relação da economia de custo entre a execução de alvenaria convencional e da ecológica.	52
Tabela 8 – Consumo energético médio por tipo de forno, recursos energéticos e perdas... ..	56
Tabela 9 – Energia embutida, em MJ/m ³ , nos materiais da construção civil	58
Tabela 10 – Relação de materiais construtivos e emissões de CO ₂ em determinadas fontes energéticas.	59
Tabela 11 – Emissões relativas de CO ₂ por fonte de energia.	60
Tabela 12 – Emissões de CO ₂ por materiais	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 JUSTIFICATIVA	13
3 METODOLOGIA	15
4 OBJETIVOS	16
4.1 Objetivo Geral	16
4.2 Objetivos específicos	16
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO	17
5.1 Sustentabilidade	17
5.2 Solo	17
5.2.1 Histórico	18
5.2.2 Composição Granulométrica	18
5.2.3 Caracterização em Laboratório.....	19
5.2.3.1 Índices de Consistência	19
5.2.3.1.1 Limite de Liquidez (LL)	19
5.2.3.1.2 Limite de Plasticidade (LP).....	20
5.2.3.1.3 Índice de Plasticidade (IP).....	21
5.2.4 Caracterização em campo	21
5.2.4.1 Teste da caixa	22
5.2.4.2 Ensaio do bolo.....	22
5.2.4.3 - Ensaio de resistência seca.....	22
5.2.5 Perfil do Solo	23
5.3 Cimento Portland	24
5.4 Água	24
5.5 Tijolo de Solo-Cimento	25
5.5.1 Histórico do solo-cimento	26
5.5.2 Viabilidades da sua aplicação.....	26
5.5.2.1 Viabilidade Econômica.....	26
5.5.2.2 Viabilidade Ecológica	27

5.5.2.3 Viabilidade Técnica.....	27
5.5.3 Tipos de tijolos solo-cimento	28
5.5.3.1 Tijolo Modular Padrão.....	29
5.5.3.2 Meio Tijolo Modular Padrão	29
5.5.3.3 Tijolo Canaleta Modular Padrão	30
5.5.3.4 Tijolo Maciço Modular Padrão	30
5.5.4 Normatização.....	31
5.5.5 Resistência à compressão	32
5.5.6 Processo de produção	33
5.5.6.1 Coleta e preparo do solo	33
5.5.6.2 Dosagem.....	34
5.5.6.3 Umidade ótima	35
5.5.6.4 Prensagem	36
5.5.6.5 Cura.....	37
5.5.7 Sistema Modular Construtivo	38
5.5.7.1 Tijolo Modular.....	38
5.5.7.2 Assentamento	41
5.5.7.3 Malha de ferragens.....	42
5.5.8 Aspectos estéticos da alvenaria ecológica (Acervo Fotográfico)	44
6. COMPARATIVO PRÁTICO DO TIJOLO CONVENCIONAL CERÂMICO E TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO.....	46
6.1 Comparativo de custo.....	46
6.1.1 Orçamento - Alvenaria Convencional Cerâmica.....	47
6.1.2 Orçamento - Alvenaria Ecológica de Solo-Cimento	50
6.1.3 Resultados e discussões	51
6.2 Impactos ambientais causados por fabricação de materiais construtivos.....	53
6.2.1 Análise do Ciclo de Vida.....	54
6.2.2 Impactos ambientais causados pela indústria de tijolo cerâmico	55
7 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	62
ANEXO A – Sistema Construtivo Modular Jarfel	68
ANEXO B – Projeto arquitetônico de casa popular utilizado no comparativo de custos.....	71

1 INTRODUÇÃO

A Construção Civil é o setor que mais contribui para o agravamento da crise ecológica no mundo. De acordo com John (2001), estima-se que ela utiliza quase 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade. A mesma consome cerca de 2/3 da madeira natural extraída e a maioria das florestas não é manejada adequadamente. Com o crescimento exponencial de suas atividades, torna-se ainda mais urgente e necessária aliar a esse setor a concepção de desenvolvimento sustentável.

No processo de fabricação do tijolo cerâmico convencional (um elemento popularmente utilizado na Construção Civil), por exemplo, em sua etapa de cura, os blocos são levados ao forno, transmitindo grandes e frequentes doses de gases poluentes na atmosfera. Além de ser responsável por gerar esses poluentes resultantes da queima nessa etapa, esse processo acarreta também grande impacto ao ecossistema com o consumo de recursos naturais. Para a produção de um milheiro desses tijolos são necessários aproximadamente 2m³ (dois metros cúbicos) de biomassa, o que equivale a cerca de 10 árvores de porte médio, segundo a Agenda 21 (BRASIL, 2001).

Em contrapeso a todos esses malefícios, sob a ótica do desenvolvimento sustentável, o tijolo solo-cimento possui um processo de produção totalmente limpo. Na cura, a secagem é feita ao ar livre, poupando o ecossistema de agressões. Os únicos elementos envolvidos são: solo, cimento e água.

O tijolo ecológico é uma alternativa promissora ao tijolo convencional, que lidera o mercado até hoje por falsas impressões de vantagens econômicas. Estas são válidas apenas no processo de produção, pois na fase de execução da obra, o tijolo solo-cimento apresenta diversas vantagens sobre os convencionais, pois, segundo Aguilar (2016), seu tempo de construção é bem menor (devido aos encaixes, que favorecem o alinhamento e prumo da parede); pode-se produzi-los no canteiro de obras; reduz-se expressivamente o uso de concreto; pode-se também dispensar o uso de tinta e outros acabamentos, devido sua estética geométrica agradável; além de ser um elemento com ótimas propriedades de isolamento térmico e acústico. Essas são algumas de suas diversas vantagens no processo de execução da obra. Ainda segundo Aguilar (2016), levando-as em consideração, o tijolo solo-cimento acaba se tornando uma peça muito importante no quesito orçamentário de um projeto.

2 JUSTIFICATIVA

A necessidade do tema em estudo se dá pela necessidade primordial do desenvolvimento sustentável no âmbito da Construção Civil, setor que mais consome recurso natural e utiliza intensivamente energia de diversas formas. É notável no Brasil, atrelada ao desenvolvimento econômico, a cultura em massa de utilização dos tijolos cerâmicos para a construção de habitações populares. Segundo Grigoletti (2001), indústrias cerâmicas de grande porte chegam a uma produção de até 10.000 peças por dia. Por conta dessa demanda, fazem-se constantemente ativas milhares de olarias cerâmicas. No Maranhão, os principais grandes pólos de olarias estão distribuídas pelos municípios de Rosário, Itapecuru-Mirim e Santa Rita.

Vale ressaltar que a fabricação dos tijolos cerâmicos possui altos índices de consumo energético. Isso se dá pelo fato de que na fase de tratamento térmico, necessário para a obtenção das propriedades cerâmicas, os milheiros de blocos vão ao forno e chegam a temperaturas altíssimas. O material mais utilizado como fonte energética é a lenha, uma vez que se possui maior custo-benefício em relação às demais fontes energéticas. A extração indiscriminada desse material afeta negativamente na vegetação local, pois intensifica o desmatamento e geralmente essas regiões não são manejadas corretamente. O Cerrado é o bioma que mais sofre com tal prática. Segundo a revista *ÉPOCA* (2017), na última década esse bioma perdeu 50.000 quilômetros quadrados de biomassa para extração de lenha e outras atividades. No Maranhão, não por acaso, o Cerrado é a vegetação que predomina nas localizações das olarias. Além desse alto consumo de recurso natural, o processo de queima da lenha resulta em grandes e frequentes emissões de gases poluentes para a atmosfera.

Tendo em vista a necessidade de neutralizar os malefícios causados pela utilização do tijolo cerâmico, aprimorando dentro de uma concepção sustentável a relação do homem com a natureza, torna-se coerente estimular a cultura de utilização do tijolo solo-cimento. Este, por sua vez, possui um processo de produção limpo, requer baixo consumo energético e não necessita de tratamento térmico. Além de possuir essas qualidades ecológicas, para a construção da alvenaria, utiliza-se o Sistema Construtivo Modular. Através deste, por se tratar de um sistema construtivo inovador, não se faz necessário mão de obra qualificada para o assentamento dos tijolos, a obra fica mais organizada e eficiente, acarretando boas consequências no aspecto econômico da obra. Apesar de possuir o custo unitário mais caro que o do tijolo convencional, através desse sistema construtivo, os custos totais com a execução da alvenaria ecológica apresentam uma economia considerável.

O estudo alerta a população em geral sobre a importância da utilização do tijolo ecológico, material que alia a concepção ecológica ao natural processo de desenvolvimento da construção civil, processo este que precisa ser consciente e sustentável para a manutenção saudável dos recursos necessários para a vida telúrica.

3 METODOLOGIA

O embasamento teórico desse trabalho consiste em uma revisão sistemática da bibliografia acadêmica sobre Tijolos Ecológicos, visando elaborar uma apresentação dos conceitos necessários para o entendimento do seu emprego na construção civil.

Foi apresentado de forma pragmática os elementos utilizados na produção – solo selecionado, cimento e água - dos tijolos de solo-cimento, bem como suas proporções e formas adequadas de seleção e extração do solo, através de ensaios laboratoriais ou *in loco*. Vale ressaltar que foi descrito também os procedimentos de produção dos blocos e suas vantagens sustentáveis, em relação ao tijolo cerâmico convencional.

O Tijolo Ecológico Modular utiliza como processo de produção o “Sistema Construtivo Modular”, grande descoberta científica da engenharia nos últimos anos. O tijolo modular foi apresentado em seus diversos modelos, tal como a importância de suas características de encaixe “Macho-Fêmea” e furos longitudinais. Foi apresentado as diversas vantagens oferecidas ao meio ambiente e a redução de custos gerado por esse revolucionário sistema de construção.

Após o embasamento teórico, foi utilizado o projeto (em fase de ante projeto) de construção de uma casa popular com loteamento localizado em Panaquatira, São Luís – MA, para realizar um comparativo de custos. Foram feitos dois orçamentos analíticos, um considerando a alvenaria feita de tijolo cerâmico convencional e outro considerando alvenaria ecológica com tijolos de solo-cimento. Foram incluídas nos orçamentos somente as etapas que não possuem aspectos construtivos em comum entre essas duas hipóteses - que são os itens relacionados à alvenaria, estrutura e ao revestimento. Os valores finais dos orçamentos serviram para comprovar a viabilidade econômica na aplicação dos tijolos ecológicos na construção civil. Para finalizar, foram utilizados dados de estudos ambientais para a realização de uma análise teórica dos impactos ao meio ambiente causados por olarias de tijolo convencional. Desse modo, após os resultados do comparativo de custo e a análise ambiental das olarias de tijolos cerâmicos, foram discutidas as conclusões que pleiteiam a utilização do tijolo ecológico de solo-cimento.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Apresentar as vantagens que giram em torno da utilização do tijolo de solo-cimento na construção civil, abordando aspectos ecológicos, econômicos e técnicos.

4.2 Objetivos específicos

- Apresentar as qualidades do tijolo ecológico, visando colocá-lo como alternativa ao tijolo cerâmico convencional.
- Definir a simples forma de produção do tijolo solo-cimento.
- Apresentar as especificações necessárias para a correta utilização do solo como matéria prima para a produção do tijolo ecológico.
- Discorrer sobre a importância do Sistema Construtivo Modular para o processo construtivo de uma alvenaria ecológica, descrevendo algumas características e etapas desse processo.
- Apresentar, através de um estudo comparativo, a redução de custos e a importância ecológica ao se utilizar o tijolo solo-cimento.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO

5.1 Sustentabilidade

Segundo Silva *et al* (2008), o termo “sustentabilidade” para definir as atividades humanas que suprem as necessidades atuais da humanidade, de forma a não prejudicar os recursos essenciais para as gerações futuras. Usufruir de maneira inteligente os recursos naturais é uma importante e necessária estratégia para se desenvolver a sustentabilidade.

“A sustentabilidade é um conceito fundamentalmente normativo, ela implica a manutenção, para cada geração, de um nível socialmente aceitável de desenvolvimento humano” (BELLEN, 2005, p.68).

A importância de se adequar as novas demandas do consumidor foi percebida por diversas áreas, assim se tornou em evidência a busca pelo desenvolvimento sustentável. Atualmente, o desenvolvimento sustentável passou a se tornar presente nas discussões políticas entre os países do primeiro mundo, visando harmonizar a preservação do meio ambiente com o seu desenvolvimento econômico.

A construção civil, por ser um dos setores que mais utiliza como matéria-prima recursos naturais, tem uma relação bastante delicada com esse conceito. De acordo com John (2001), esse consumo é em média de 20 a 50% de todo recurso natural útil para o homem. O setor usufrui grande quantidade de valor energético por materiais que necessitam ser transportados (geralmente por distâncias enormes). Assim como todos os setores da sociedade, a construção civil deve atualizar seus conceitos, almejando posturas, ações e técnicas que visem à sustentabilidade de suas atividades. E é nesse sentido que o tijolo solo-cimento vem sendo tratado em inúmeras produções acadêmicas com responsabilidade ecológica.

5.2 Solo

Segundo Braja (2007), o solo pode resultar da desintegração mecânica, decomposição química ou do intemperismo de rochas. Como é um elemento abundante e pode se apresentar de inúmeras qualidades e composições, é importante selecioná-lo de forma racional para a produção do tijolo, visando obter um produto mais econômico e de maior qualidade possível. Segundo Aguilar (2016), a amostra de solo deve conter no mínimo 70% de areia e possuir índices de consistência definidos por norma. O produto final, por sua vez,

deve possuir qualidades relacionadas à elevada resistência à compressão e pouca contração na secagem.

5.2.1 Histórico

Lepsch (2010) narra que o homem, cerca de 30 mil anos atrás, distinguia os variados tipos de solo de acordo com as suas necessidades da época, uns para produção de alimentos e outros para extração de pigmentação, além dos que eram capazes de produzir objetos. Já há 10 mil anos, iniciou-se a agricultura devido a conquista e fixação em territórios. Como conseqüente surgiu a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre o solo. O início da classificação dos solos se deu pelos chineses, mais ou menos há 6.600 anos, quando estes já tinham nove classes de solos utilizados para agricultura.

Segundo Dalmas *et al* (2011), o advento da imprensa na Idade Média e posterior a Revolução Francesa proporcionaram com o avanço das ciências o surgimento da pedologia, objetivada a estudar o solo como um todo e em seu ambiente natural, instituída por Wassily V. Dokouchae (em 1877) que definiu o também o estudo da formação dos solos, a pedogênese. De acordo com Caputo (1996), a pedologia se subdividiu em várias áreas, como a edafologia, ligada à agricultura e suas ramificações, a geotecnia e mecânica dos solos surgida em 1925 por Karl Terzaghi, relacionadas à Engenharia Civil.

Em contrapartida, não consta como subárea da pedologia o estudo do solo como matéria-prima para produção de materiais de construção. Segundo Santiago (2001), surgiu daí a necessidade em tomar conhecimento sobre a origem, características, comportamentos e procedimentos de identificação dos solos, que permite avaliar a adequação destes para produção de materiais de construção e distinção dos que se aplicam somente em determinadas técnicas. Para Neves *et al* (2005) os mais adequados para a construção, são os solos denominados de terra.

5.2.2 Composição Granulométrica

Segundo Braja (2007), o solo é composto basicamente por três classes principais: areia, argila e silte. Essa classificação é definida em laboratório pelo “Ensaio de Granulometria” e leva em consideração o tamanho dos grãos. É através desse ensaio que se tira um dos parâmetros para definir se o solo é viável para produção do Tijolo Solo-Cimento.

De acordo com as normas da ABNT, a classificação detalhada por diâmetro das partículas consiste em (Tabela 1)

Escala granulométrica brasileira (ABNT)	
argila	$\phi < 0,005 \text{ mm}$
silte	$0,005 \text{ mm} < \phi < 0,05 \text{ mm}$
areia fina	$0,05 \text{ mm} < \phi < 0,425 \text{ mm}$
areia média	$0,42 \text{ mm} < \phi < 2,00 \text{ mm}$
areia grossa	$2,00 \text{ mm} < \phi < 4,80 \text{ mm}$
pedregulho	$4,80 \text{ mm} < \phi < 76 \text{ mm}$
pedra	$76 \text{ mm} < \phi < 25 \text{ cm}$
matacão	$25 \text{ cm} < \phi < 100 \text{ cm}$
bloco de pedra	$\phi > 1 \text{ m}$

Tabela 1 – Classificação granulométrica de um solo
Fonte: Lafayette (2006)

De acordo com a NBR 13553 (1996), a amostra de solo mais adequada para fabricação do solo-cimento é solo do tipo arenoso - uma vez que possui menos argila, exige-se menos quantidade de cimento na composição - possuindo as seguintes características granulométricas:

- 100% de material passante na peneira # 4,8 mm (n°4);
- Entre 15% e 50% de material passante na peneira de #0,075 mm (n°200).

5.2.3 Caracterização em Laboratório

Além da granulometria, outra condição que deve ser verificada para a viabilidade característica do solo é sua qualidade quanto a consistência. Para isso, são feitos alguns ensaios em laboratório para coleta numérica de seus índices de consistência.

5.2.3.1 Índices de Consistência

5.2.3.1.1 Limite de Liquidez (LL)

De acordo com Braja (2007), o grau de umidade de passagem dos estados líquido e plástico. É definido como a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico; é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo. Experimentalmente corresponde ao teor de umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes do aparelho de Casagrande (Figura 1). Nesse ensaio são feitas várias tentativas, com diferentes níveis de umidade, tendo o fechamento da ranhura com diferentes números de golpes.



Figura 1 – Aparado de Casagrande e ranhura em amostra de solo.
Fonte: (LABGEO, 2017)

5.2.3.1.2 Limite de Plasticidade (LP)

Ainda de acordo com Braja (2007), o limite de plasticidade é o índice de umidade exatamente no momento em que o solo torna-se quebradiço, o que corresponde ao final do seu estado plástico. Ou seja, é o teor de umidade de mudança do estado plástico para o estado semi-sólido. Para determiná-lo, basta fazer um cilindro de solo fino, com aproximadamente 1,5 mm de raio e 10 cm de comprimento (Figura 2). Quando o cilindro apresentar fissuras, significa que sua umidade corresponde ao Limite de Plasticidade.



Figura 2 – Cilindro quebradiço de solo com aproximadamente 1,5mm de raio
Fonte: BRAJA, 2007

5.2.3.1.3 Índice de Plasticidade (IP)

O Índice de Plasticidade é um índice utilizado como parâmetro para a análise do solo como matéria prima para a produção do tijolo ecológico e é calculado pela simples expressão $IP=LL-LP$.

Segundo a NBR 13553 (1996), para a utilização de um solo como matéria prima para a fabricação de tijolo solo-cimento, seus índices de consistência devem possuir atender as seguintes exigências:

- Limite de liquidez (LL) menor ou igual a 45%;
- Índice de plasticidade (IP) menor ou igual a 18 %.

Para explorar um aspecto bastante econômico dos blocos de solo-cimento, deve-se utilizar o solo próximo à execução da obra. Segundo Aguilar (2016), caso não haja amostras de solo que se enquadre nesses limites de caracterização, é possível fazer a mistura de solos a fim de alcançar essas características desejadas.

5.2.4 Caracterização em campo

Na intenção de facilitar a verificação de viabilidade do solo no âmbito do canteiro – uma vez que nesse ambiente não costumam possuir laboratórios -, desenvolveu-se ensaios práticos que podem ser executados *in loco* para uma diligente caracterização das amostras.

5.2.4.1 Teste da caixa

Segundo Neves et al (2005), o teste da caixa é um ensaio simplificado que determina a variação volumétrica do solo. Os objetos necessários são uma caixa de madeira com dimensões 60 x 8,5 x 3,5 cm e uma colher de pedreiro (Figura 3). Acrescenta-se água ao solo, paulatinamente, até que este comece a apresentar pegadas na colher. A partir daí, o solo é posto na caixa, enchendo-a até o seu limite volumétrico. Para eliminação dos vazios presentes na amostra, são aplicados golpes à caixa. Guarda-se então a caixa em local por sete dias, protegido do sol e da chuva. Passados os dias, faz-se a leitura no sentido vertical da caixa. De acordo com ABCP (1985), a amostra não deve obter trincas e a soma das leituras não deve ultrapassar 2 cm. Caso não se enquadre nessas exigências, deve-se adicionar areia à amostra e refazer o procedimento.

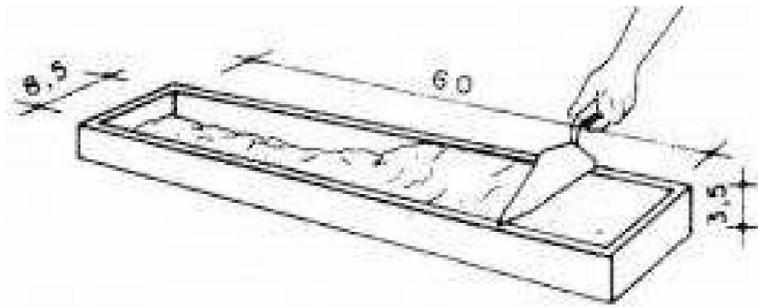


Figura 3 – Desenho representativo do Teste de Caixa
Fonte: (PIXABAY,2017)

5.2.4.2 Ensaio do bolo

Com uma porção de solo bastante úmida, faz-se uma bolinha. Coloca-se na palma da mão e na própria realiza-se 20 a 30 golpes com a outra mão, até o ponto que emergir a água na superfície, dando um aspecto brilhante. Para saber se a amostra é adequada para utilização em solo-cimento, segundo Uchimura (2006), o brilho deve desaparecer ao exercer com os dedos uma pressão sobre a bolinha.

5.2.4.3 - Ensaio de resistência seca

Toma-se uma amostra com alto índice de umidade, faz-se três pastilhas com 1 cm de espessura e raio entre 1 a 1,5 cm. Elas devem ser secas por dois dias. Após isso, deve-se

tentar esmagá-las. Ainda de acordo com ABCP (1985), o solo possui alta resistência se for difícil esmagá-las; possui resistência média caso não seja difícil de esmagá-las, porém haja dificuldade ao tentar reduzi-las a pó; e uma vez que não haja dificuldade de esmagá-la, a amostra possui resistência baixa.

5.2.5 Perfil do Solo

Segundo Mosaica Fertilizantes (2015), o solo é dividido por camadas que são dispostas uma embaixo da outra, de modo paralelo ao perfil do terreno. Cada camada é considerada um “Perfil do Solo”. Essas camadas possuem algumas diferenças entre si, que são:

- Consistência, porosidade, coloração, textura, estrutura;
- As espessuras podem variar de centímetros até dezenas de metros de profundidade;
- Há casos em que não existe limite entre as camadas, uma vez que essas se fundam.

A Figura 4 apresenta um desenho esquemático representando os três perfis do solo.



Figura 4 – Desenho esquemático representando os três perfis do solo
Fonte: (MOISAIC FERTILIZANTES, 2015)

Apresenta-se a seguir algumas características de cada horizonte do solo, ainda conforme a Mosaic Fertilizantes (2015):

Horizonte A: Faixa correspondente à superfície do solo, incluindo a camada morta e arada. Nessa faixa há uma grande presença de raízes de plantas, fungos, bactérias, matéria orgânica e outros tipos de seres vivos. Essa não é uma camada recomendada para extrair solo como matéria prima de produção do tijolo ecológico.

Horizonte B: É denominada de subsolo e corresponde à faixa entre as camadas A e C, contendo também propriedades dessas duas camadas. Os organismos vivos estão em menor número que o horizonte A e possui maior composição em argila que nos outros horizontes.

Horizonte C: É a camada mais profunda, localizada abaixo da camada B. Essa faixa é onde se forma a parte mineral do solo. Pode ter ocorrido a acumulação por sedimentação ou quebra de rocha dura ou ação dos elementos naturais.

De acordo com Aguilar (2016), a coleta do solo utilizada na confecção do tijolo de solo-cimento deve ser feita há no mínimo cinquenta centímetros (ou vinte polegadas) de profundidade não deve conter material orgânico, raízes, folhas, galhos - o que se enquadra no perfil de Horizonte B. Caso contrário, pode-se causar um retardo na hidratação do cimento, influenciando negativamente na qualidade da peça. Essa verificação da presença de matéria orgânica pode ser feita por análise visual.

5.3 Cimento Portland

Tartuce (1990) define cimento Portland como um material pulveroso, constituído basicamente de silicatos e aluminatos complexos que, ao entrar em contato com água, endurece a mistura. Assim, passa a oferecer resistência mecânica. Esse material é utilizado em baixa proporção na mistura para a produção do tijolo solo-cimento.

5.4 Água

Segundo Aguilar (2016), a porcentagem de água utilizada para umedecer a mistura não passa de 2%. É importante que ela esteja isenta de impurezas como: galhos, raízes, folhas, sulfatos, sais, álcalis, óleos, entre outras. Tais impurezas, como dito antes, são nocivas à hidratação do cimento, o que no futuro pode causar danos aos componentes construtivos.

5.5 Tijolo de Solo-Cimento

Para definição do bloco, têm-se:

O tijolo ecológico ou de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento, que depois são prensados. Seu processo de fabricação não exige queima em forno à lenha, o que evita desmatamentos e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente. Para o assentamento, no lugar de argamassa comum é utilizada uma cola especial (SALA, 2006).



Figura 5 – Componentes do tijolo solo-cimento
Fonte: (SAHARA, 2017)

Além de a porcentagem no traço do bloco ser composto por solo, material disponível em abundância no planeta, esse material pode ser extraído para produção no próprio local de execução da obra, justificando assim seu baixo custo. Já o cimento possui uma pequena porcentagem na produção do bloco. Sua finalidade é fornecer ao solo as características mínimas de estabilidade e resistência. Há também uma parcela de no máximo 2% de água que serve para contribuir na umidade da mistura.

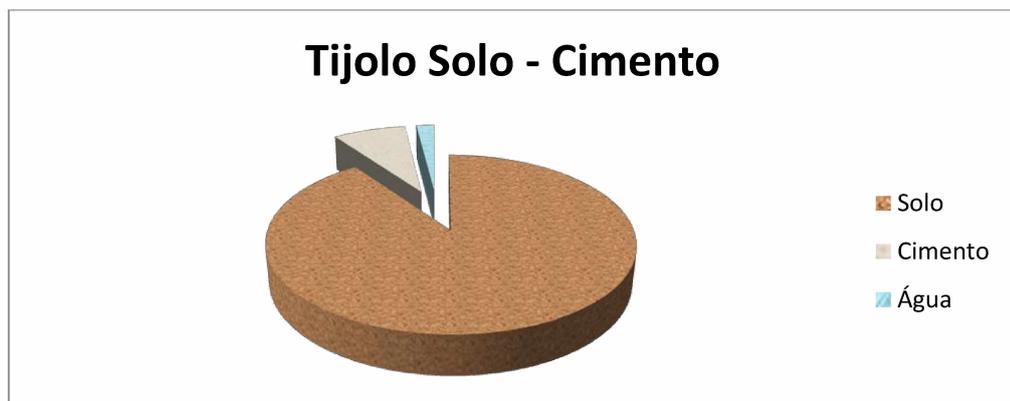


Figura 6 – Proporção de solo, cimento e água na mistura de solo-cimento
Fonte: Realizado pelo próprio autor

De acordo com Uchimura (2006), no processo de dosagem do solo-cimento para construções de pequeno porte, é indicado que sejam preparados três traços volumétricos com proporção de 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento:solo) e para cada traço, sejam moldados seis tijolos usando a prensa para submetê-los ao ensaio de compressão simples.

De acordo com Pisani (2005), os tijolos podem apresentar vários modelos e tamanhos, a depender das proporções e geometria da fôrma.

5.5.1 Histórico do solo-cimento

A primeira vez em que se empregou o solo-cimento foi na pavimentação de rua com uma mistura de conchas marinhas, areia de praia e cimento Portland, em 1915 nos Estados Unidos pelo engenheiro Bert Reno. Somente em 1935 a Portland Cement Association (PCA) deu início as pesquisas de estudo sobre a tecnologia desse material, segundo relatos de Abiko (1983).

De acordo com Thomaz (1979), a utilização de solo-cimento na construção de edificações no Brasil, sobreveio inicialmente em 1945 na cidade de Santarém (PA), onde por experimentação se edificou uma casa de bombas para abastecimento das obras de construção do aeroporto local.

A construção de casas residenciais com o uso de solo-cimento aconteceu em 1848, no logradouro de Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis (RJ). De acordo com a FHAJ - Fundação Hospital Adriano Jorge (2015), em 1953 foi implantado o Hospital de Tuberculosos de Manaus (AM), hoje Hospital Geral Adriano Jorge, com uma área total construída de 16.208,48m², inteiramente constituído em paredes monolíticas de solo-cimento. Estas edificações apresentam em seu corpo construtivo um bom estado de conservação atestando de forma visual a qualidade do material e da técnica construtiva. Pelas vantagens técnicas e econômicas que o material de solo-cimento oferece o seu uso passou a ser expandido.

5.5.2 Viabilidades da sua aplicação

5.5.2.1 Viabilidade Econômica

Diversos são os aspectos que tornam a aplicação do tijolo ecológico uma estratégia mais econômica para a construção civil. Segundo Pisani (2005), a principal matéria-prima da mistura encontra-se em abundância pelo planeta. Em uma obra feita por blocos de

solo-cimento, reduzem-se os custos com elementos clássicos de estrutura de concreto armado, como viga e pilar. Outro fator importante é a economia de energia dissipada, pois no caso do tijolo cerâmico convencional os blocos são levados ao forno, já no ecológico o seu processo de cura é feita somente ao ar. É importante ressaltar que pelo processo de produção ser tecnicamente simples, torna-se viável os blocos serem produzidos dentro do canteiro de obras, cortando também custos com frete.

5.5.2.2 Viabilidade Ecológica

Levando-se em consideração que a Construção Civil tem gerado uma grande quantidade de resíduos sólidos em seus processos produtivos, a busca de novas soluções construtivas, o emprego viável de novas ferramentas, a reciclagem de resíduos, o déficit habitacional, o desenvolvimento sustentável e a eliminação do desperdício no canteiro de obras por meio da racionalização de materiais e mão de obra são desafios a serem encarados por pesquisadores, engenheiros, arquitetos e pela própria sociedade (MORAIS; CHAVES; JONES, 2014).

Zordan (2004) ressalta que a maioria das atividades desenvolvidas no âmbito da construção civil gera resíduo. O RCD (Resíduo de Construção e Demolição) pode ser reciclado na fabricação do tijolo ecológico como elemento adicional. Assim, possibilita a redução do cimento na mistura, já que fornece mais resistência à compressão. Existem também outros tipos de elementos adicionais que dão mais caráter ecológico ao tijolo, como: fibra de bananeira; casca do grão de arroz; resíduo de granito; cinza proveniente da queima do bagaço da cana de açúcar; entre outros.

De acordo com a Agenda 21 (2001) do Ministério do Meio Ambiente, no Nordeste brasileiro, um milhão de quilômetros quadrados de reservas como Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga, são devastados para serem usados como combustível no forno de fabricação dos tijolos cerâmicos convencionais. Como o processo de produção do tijolo ecológico não utiliza queima, essas áreas exploradas tornam-se significativamente mais preservadas, além, é claro, de ter contribuição zero com o efeito estufa.

5.5.2.3 Viabilidade Técnica

Segundo Teixeira et al (2012), a alvenaria de tijolo ecológico necessita menos de manutenção e possui grande durabilidade, uma vez que o cimento estabiliza o solo, dando resistência e impermeabilidade. O tijolo modular é o objeto do Sistema Construtivo Modular, grande técnica descoberta nos últimos anos. Ele possui, além dispositivo geométrica de

encaixe “Macho-Fêmea”, dois furos que permitem a passagem de instalações elétricas e hidráulicas e, entre outras vantagens, fornecem boas qualidades termo acústicas para a alvenaria, uma vez que os furos longitudinais do tijolo modular funciona como uma câmara que dificulta a passagem de frequências sonoras e térmicas.

De acordo com Aguilar (2016), o assentamento dos tijolos é feito por cola de argamassa polimérica, o que diminui o tempo de construção de uma alvenaria. Por descartar o uso de cimento, o meio que circunda a obra torna-se limpo e agradável. Como o tijolo há um aspecto estético agradável, é dispensável o uso de tinta na alvenaria – o que se torna também um fator econômico no orçamento de uma obra.

5.5.3 Tipos de tijolos solo-cimento

O tijolo de solo-cimento pode fornecer diversas necessidades estruturais que um projeto arquitetônico precisa: Parede reta, coluna vazada, coluna sólida, cantos, entre outras (Figura 7). De acordo com ECO MÁQUINAS (2016), os tipos de tijolos de solo-cimento possuem tamanhos e modelos variados. Isso depende da mão de obra, do projeto, dos materiais, da prensa e outras condições específicas. O tijolo modular possui um encaixe “Macho-Fêmea” com medidas estritas para fornecer facilidade no assentamento e praticidade no desenvolvimento construtivo.

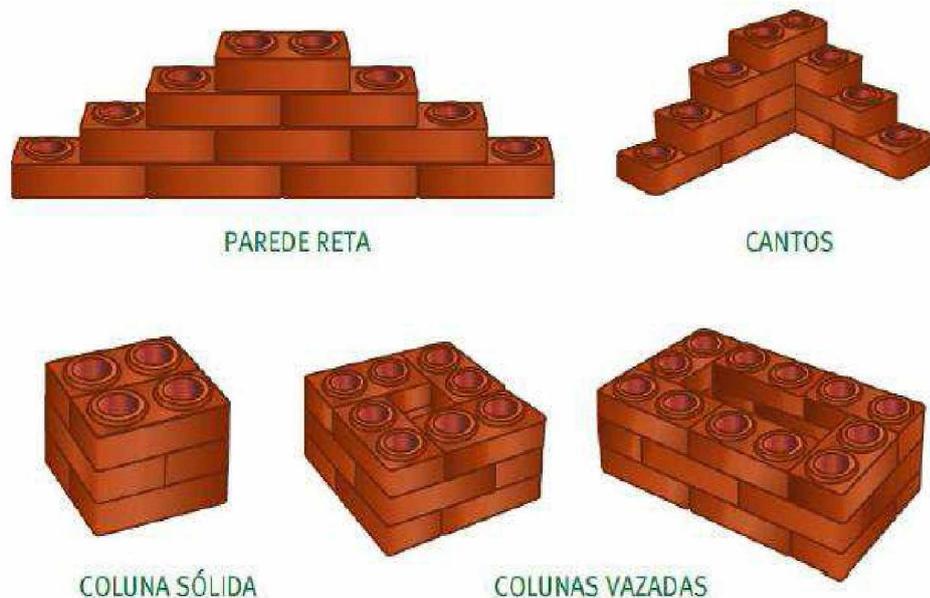


Figura 7 – Diferentes tipos de utilização do tijolo de solo cimento
 Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)

5.5.3.1 Tijolo Modular Padrão

Por servir como intermediários para paredes, quinas (cantos) e colunas vazadas ou maciças, esse modelo de bloco é o mais utilizado (Figuras 8 e 9). Os blocos possuem dutos vazados circulares que permitem a passagem de instalações elétricas e hidráulicas. De acordo com a ECO MÁQUINAS (2016), evita-se assim todo o prejuízo com as quebras e restauração de paredes, prejuízo inevitável na construção convencional.



Figura 8– Tijolo Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)



Figura 9 – Alvenaria com Tijolo Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)

5.5.3.2 Meio Tijolo Modular Padrão

Geralmente se utiliza o meio tijolo para concluir paredes internas, portas e janelas. A maior vantagem desse tipo de tijolo (Figura 10) é que a quebra ou corte do mesmo é dispensada para o término de paredes (Figura 11).



Figura 10 – Meio Tijolo Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)



Figura 11 – Alvenaria com meio Tijolo Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)

5.5.3.3 Tijolo Canaleta Modular Padrão

Sua vantagem principal desse modelo (Figura 12) é a de poder ser colocado em posições e dimensões diferentes. Com isso, pode-se utilizar tanto como reforço no meio de paredes (Figura 13) e em respaldo (espécie de viga posta na última fiada), quanto em vergas para janelas e nas portas.

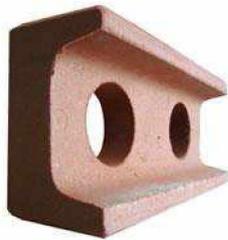


Figura 12 –Tijolo Canaleta Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUIINAS, 2016)



Figura 13 – Cimentação de reforço em alvenaria de Tijolo Canaleta Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUIINAS, 2016)

5.5.3.4 Tijolo Maciço Modular Padrão

Esse modelo de tijolo (Figura 14) é utilizado geralmente, no caso de alvenaria, até a terceira fiada, uma vez que posteriormente é priorizado os tijolos com furos para a passagem das instalações e para maior contribuição nas qualidades termo acústicas da alvenaria. Pode ser usado também para outros elementos construtivos (Figura 15).

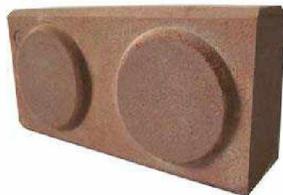


Figura 14– Tijolo Maciço Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUIINAS, 2016)



Figura 15– Balcão com Tijolo Maciço Modular Padrão
Fonte: (ECO MÁQUIINAS, 2016)

Pisai (2005) relacionou entre si os modelos citados indicando suas dimensões e características (Tabela 2).

Tipo	Dimensões	Características
Maciço comum	5 x 10 x 20 cm. 5 x 10 x 21 cm.	Assentamento com consumo de argamassa similar dos tijolos maciços comuns.
Maciço com encaixes	5 x 10 x 21 cm. 5 x 11 x 23 cm.	Assentamento com encaixes com baixo consumo de argamassa
½ tijolo com encaixes	5 x 10 x 10,5 cm. 5 x 11 x 11,5 cm.	Elemento produzido para que não haja quebras na formação dos aparelhos com juntas desencontradas
Tijolos com dois furos e encaixes	5 x 10 x 20 cm. 6,25 x 12,5 x 25 cm. 7,5 x 15 x 30 cm.	Assentamento a seco, com cola branca ou argamassa bem plástica. Tubulações passam pelos furos verticais.
½ tijolo com furo e encaixe	5 x 10 x 10 cm. 6,25 x 12,5 x 12,5 cm. 7,5 x 15 x 15 cm.	Elemento produzido para acertar os aparelhos, sem a necessidade de quebras.
Canaletas	5 x 10 x 20 cm. 6,25 x 12,5 x 25 cm. 7,5 x 15 x 30 cm.	Elemento empregado para execução de vergas, reforços estruturais, cintas de amarração e passagens de tubulações horizontais.

Tabela 2 – Tipos, dimensões e características de tijolos solo-cimento produzidos no Brasil
Fonte: PISANI (2005, p.6)

5.5.4 Normatização

Foram publicadas no Brasil pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) algumas normas relacionadas ao tijolo de solo-cimento. As principais são:

- NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com utilização de prensa hidráulica. Procedimento
- NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento. Especificação
- NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação de resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo cimento sem função estrutural
- NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço de solo cimento com a utilização de prensa manual.

A NBR 10834 define que a cada lote de 10000 peças, devem ser separadas no mínimo dez amostras para verificar suas características em relação à resistência à compressão (Tabela 3).

CARACTERÍSTICA	EXIGÊNCIA NBR 8491
Resistência à compressão	valor médio $\geq 2,0$ Mpa
	valor individual $\geq 1,7$ Mpa

Tabela 3 – Limites definidos pela ABNT para tijolos de solo-cimento.
 Fonte: Elaborado pelo autor a partir da NBR10834

5.5.5 Resistência à compressão

A norma regulamentadora do ensaio de compressão simples para blocos de solo-cimento é a NBR 8492/1984. Utiliza-se chapas metálicas (como sistema de capeamento não colado) e um material de amortecimento postos às bases do corpo de prova. Este deve ser colocado entre as chapas, sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão. Com a máquina devidamente calibrada, exercem-se cargas gradativas até ocorrer a primeira trinca visível (Figura 16).

Segunda Souza *et al* (2011), as cargas sobre uma parede de uma casa térrea são exercidas por compressão pela carga do telhado e pelo peso próprio da parede. Em construção com telhados convencionais, essas tensões dificilmente ultrapassam 0,1 MPA. Caso os telhados não se apoiem nas paredes, é considerado o peso próprio da parede, que não excede 0,05 MPa. A NBR 8491 define 2,0 MPA (para a média do conjunto de amostras e 1,7MPA para amostras individuais) o limite mínimo de compressão simples para o tijolo de solo-cimento.



Figura 16 – Trinca em corpo de prova de solo-cimento sob o ensaio de compressão simples
 Fonte: (Souza *et al.*, 2011)

5.5.6 Processo de produção

5.5.6.1 Coleta e preparo do solo

De acordo com a Aguilar (2016), a jazida de solo deve ser abundante o suficiente para atender a demanda e é recomendado que esteja próxima do local de fabricação. O material pode ser extraído manualmente (com auxílio de picaretas, pás) ou de forma motorizada (retroescavadeira, lâminas). Ao se extrair o solo, é recomendado retirar – manualmente - os possíveis pedregulhos, matéria orgânica, seixos, gravetos presentes no material para não atrapalhar o processo de produção.

Após a extração, segundo a ECO MÁQUINAS (2016), deve-se separar pequenas amostras para submetê-las aos ensaios de laboratório (ou os *in loco*) para verificar a sua viabilidade de utilização na produção. Feito os devidos ensaios, o solo deve ser triturado por máquinas trituradoras (Figura 18) para eliminar torrões naturais (Figura 17), deixando o solo mais homogêneo (Figura 21). Caso ainda haja resíduos minerais e orgânicos, deve-se fazer a remoção por peneiramento manuais, com malhas (Figura 19) de 4 a 6 milímetros, ou por peneiras rotativas automáticas (Figura 20).



Figura 17 – Solo com Torrões
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)



Figura 18 – Triturador ou destorrador
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)



Figura 19 – Peneira manual
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)



Figura 20 – Peneira rotativa
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)



Figura 21 – Solo após trituração e peneiramento.
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)

5.5.6.2 Dosagem

Há uma carência de dados em relação à dosagem exata da mistura de solo-cimento aplicada à construção de paredes. Para designação dessas proporções, Uchimura (2006), recomenda que sejam preparados três materiais diferentes com traços de 1:10, 1:12 e 1:14 (cimento:solo). Para cada traço devem ser moldados seis tijolos. Segundo o autor, assim se pode selecionar o traço com o custo-benefício mais qualificado, no caso o com maior proporção de solo.

5.5.6.3 Umidade ótima

Ao se misturar o com o cimento, o solo deve possuir uma umidade ideal para que, no momento da prensagem, se obtenha maior nível de densificação possível. De acordo com Aguilar (2016), é sugerido que a adição da água seja em forma de “chuveiro” para garantir uma boa distribuição da água. A mistura pode ser manual, com auxílio de inchadas ou pás e devem ser misturados até a homogeneização.

Se a mistura for umedecida em excesso, o processo de prensagem pode ser prejudicado, já que as moléculas da água também recebem a carga de pressão. Não existe uma porcentagem exata de água na mistura (assim como o cimento), pois de acordo com Rigassi (1985), as propriedades do solo mudam de um caso para o outro, dependendo diretamente da composição granulométrica e outros fatores.

Através dos ensaios de compactação – que gera um gráfica de umidade em relação a massa específica aparente, é possível obter o valor da umidade ótima. Esse parâmetro é importantíssimo pois uma vez que se maneja um material com umidade próxima da ótima, propicia-se condições de trabalhabilidade mais favoráveis e máxima compressão do material. A Figura 22 representa graficamente o ponto ótimo de umidade de uma determinada amostra de solo.

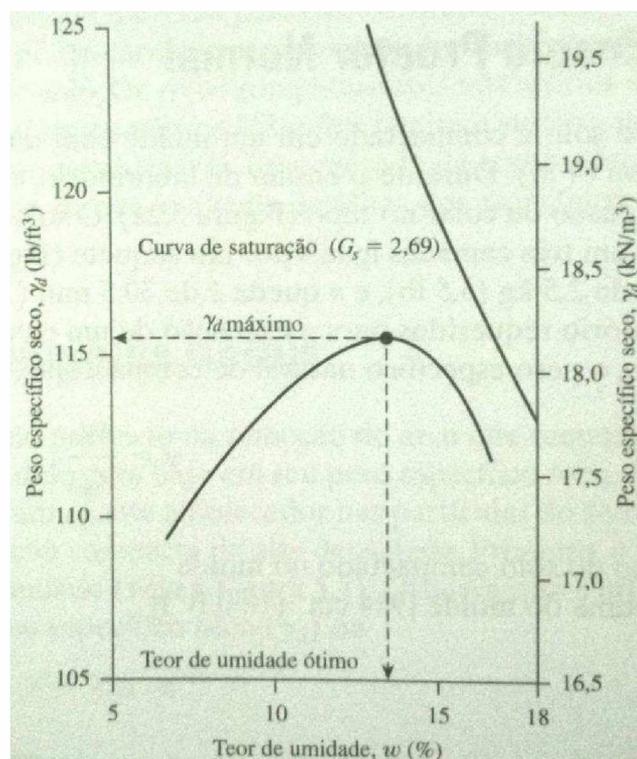


Figura 22 – Gráfico representativo para a determinação da umidade ótima.
Fonte: (BRAJA, 2007)

Caso o local de mistura não possua laboratório, para eficiência da produção, pode-se verificar a umidade ideal de mistura com precisão aceitável da seguinte forma, de acordo com Silva (2005).

- A. Colocar na mão uma porção da mistura e pressioná-la entre os dedos e a palma da mão. Ao abrir a mão, a porção (“bolo”) deverá apresentar as marcas esculpidas pelos dedos.

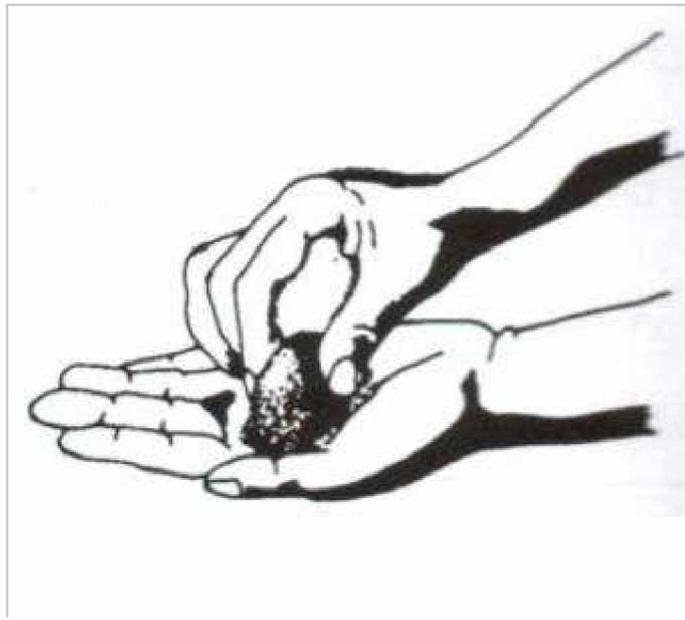


Figura 23 – Processo prático para verificar a umidade de mistura
Fonte:(SILVA, 2005, p. 158)

- B. Deixar cair a porção sobre uma superfície rígida a uma altura média de 1 metro. Se o “bolo” esfarelar-se, está pronto para a prensagem. Caso isso não aconteça, a mistura possui um grau de umidade acima da umidade ótima.

5.5.6.4 Prensagem

O molde da prensa manual dá forma ao bloco produzido e segundo Aguilar (2016), quanto maior a compactação, maior será a qualidade do bloco. O mercado do ramo já possui máquinas manuais e hidropneumáticas. Para ilustração, segue abaixo (Figura 24 e 25) esses dois modelos de máquinas da que são vendidas na SAHARA TECNOLOGIA, uma das empresas pioneiras do ramo no Brasil.



Figura 24 – Máquina manual de tijolos ecológicos solo-cemento modular
Fonte: SAHARA, 2017



Figura 25– Máquina Hidropneumática de tijolos de solo-cemento (modelo Multifuncional HP II).
Fonte: SAHARA, 2017

5.5.6.5 Cura

De acordo com Presa (2011), as peças precisam manter a regulação do seu grau de umidade durante o período de aproximadamente sete dias. Para isso, é preciso que seis horas depois de prensados, os tijolos sejam molhados periodicamente até completar o sétimo dia (Figura 26). Vale ressaltar que se deve evitar a perda de água rápida por evaporação, pois

pode não haver tempo suficiente para a água reagir com toda a porção de cimento. Para isso, assim que são moldados, recomenda-se proteger o lote com uma lona plástica.



Figura 26 – Tijolos sendo umedecidos após seis horas de prensados
Fonte: (ECO MÁQUINAS, 2016)

5.5.7 Sistema Modular Construtivo

5.5.7.1 Tijolo Modular

O Sistema Modular Construtivo tem como objeto de construção o Tijolo Modular (Figura 27). Segundo Aguilar (2016), o bloco possui, além do sistema de encaixe “Macho-Fêmea”, uma característica funcional composta por dois furos longitudinais que proporcionam diversas vantagens para as técnicas construtivas. O tijolo modular é considerado entre os especialistas como uma das maiores inovações construtiva dos últimos tempos.



Figura 27 – Tijolo Modular “Padrão”
Fonte: (PIXABAY,2017)

Segundo a ANITECO (2017), entre as vantagens do tijolo modular, destacam-se as seguintes:

- Servem como passagem da rede hidráulica e elétrica, evitando o desperdício de materiais e geração de entulhos com as quebras de alguns elementos construtivos para instalação convencional dessas redes;



Figura 28 – Elementos do sistema hidráulico instalados entre os furos do Tijolo Modular

Fonte: (PINTEREST, 2017)

- Funcionam como câmaras termoacústicas, proporcionando uma redução do consumo de energia nas edificações, uma vez que essas câmaras regulam a temperatura e diminuem o impacto da poluição sonora no interior do ambiente;
- Diminuem a quantidade de argamassa necessária para assentá-los, uma vez que possuem dimensões geométricas precisas;
- Preenchidos com concreto (Figura 29), funcionam como colunas de sustentação e podem suportar de 6 a 14 toneladas. Desse modo, se reduz custos com fôrmas de madeiras, com mão de obra qualificada para o manejo dessas fôrmas, grandes quantidades de concreto e aço;



Figura 29 – Canto de alvenaria grauteado
Fonte: (MONTESEUPROJETO, 2015).

- Ao final da obra, esses furos não são tampados, fazendo com que a umidade saia e mantenha as peças livres de organismos como bactérias e fungos.

Como possui um ótimo acabamento, o tijolo pode ficar exposto, aplicando somente algum tipo de resina protetora. Entretanto, sua natureza aceita também quaisquer tipos de materiais como tintas, gessos, pedras decorativas, azulejo, reboco, etc.



Figura 30 – Alvenaria de casa popular com Tijolo Modular exposto
Fonte: (PINTEREST, 2017)

5.5.7.2 Assentamento

Segundo a ECO MÁQUINAS (2016), primeiramente deve ser feita a impermeabilização na linha das alvenarias antes da primeira fiada. Esta deve possuir alinhamento e nivelamento perfeito, realizada com acompanhamento do mestre de obra ou de um engenheiro. Geralmente no assentamento dessa primeira etapa utiliza-se argamassa comum de proporção de 1:3 (cimento:areia). As primeiras regiões a serem assentadas são os cantos, averiguando imediatamente os níveis transversais e longitudinais do bloco.



Figura 31 – Primeira fiada no assentamento do Tijolo
Fonte: VERDESAINE, 2017

De acordo com a ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (1985), o tijolo modular possui medidas precisas e dispõe de um sistema de encaixe “Macho-Fêmea” perfeito. Com isso, para o assentamento das outras fiadas, são aplicados apenas dois filetes por bloco de cola PVA ou cola de argamassa (Figura 32), dispensando a necessidade do consumo de cal, reboquite, cimento e areia excessivo, o que além de também reduzir custos, mantém a obra organizada e limpa.



Figura 32 – Aplicação de cola de argamassa durante o assentamento do Tijolo Modular
Fonte:(RECRIAR, 2005)

5.5.7.3 Malha de ferragens

Imediatamente após a primeira fiada são fixados longitudinalmente ferros que formarão colunas de sustentação. A priori é feita a marcação dos pontos, começando pelos cantos. As colunas devem manter, segundo o Anexo A, em média, 1 metro de distância, ficando a critério do engenheiro a distribuição. Após a marcação, com auxílio de furadeira profissional ou industrial, são feitos furos com 20 centímetros de comprimento (perpassando a viga baldrame ou radier) e espessura equivalente à da ferragem (usualmente utiliza-se 6,3mm e 8mm). Para facilitar o manejo e logística da obra, os ferros utilizados possuem, em geral, 1,5 m de comprimento. Para a fixação, basta passar adesivo Epóxi na ponta da ferragem e enfiá-la no buraco.



Figura 33 – Ferros longitudinalmente fixados após a primeira fiada da alvenaria modular
Fonte: (SCHELEDER, 2015)

De acordo com ECO MÁQUINAS (2016), para a amarração de colunas vizinhas, nos cantos em “L” e “T”, são usados grampos – pedaço de vergalhão dobrado em forma de “U”. Para que o grampo não comprometa as próximas fiadas, recomenda-se fazer um rebaixamento com o auxílio da ferramentas para embuti-lo. Após a instalação dos grampos, recomenda-se a concretagem com graute (composto por cimento, areia e pedrisco), a cada 50 cm de altura da alvenaria, para evitar bolsões de ar (Figura 34).

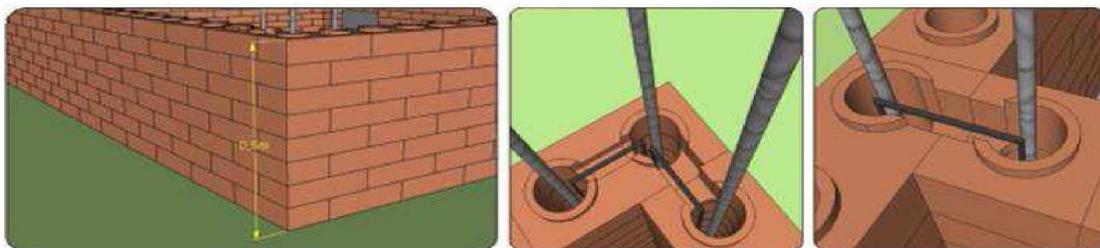


Figura 34 – Grampos instalados na união de colunas, a cada 50 cm
Fonte: (ECOMODULAR, 2017)

Na altura das vergas, contra-vergas e na última fiada (respaldo da parede), de acordo com o Anexo A, deve-se encaixar fiadas de tijolo modular “canaleta”. Nela são postas duas ferragens no sentido horizontal e é preenchida com graute, tampando os buracos de modo que não escorra concreto entre os furos no sentido longitudinal (Figuras 35 e 36). Após a concretagem, é sugerido que se molhe a fiada de canaleta para o auxílio na cura.



Figura 35 – Fiada de canaleta modular grauteada com vergalhões devidamente dispostos
Fonte: (SOLO-CIMENTO, 2013)

A malha total de ferragens (Figura 36) consiste basicamente em três linhas horizontais, no nível da verga, contra verga e respaldo; e uma linha vertical a cada metro do perímetro da alvenaria. Vale ressaltar também os grampos em forma de U que são postos nos pontos intersecção das paredes (Figura 34).

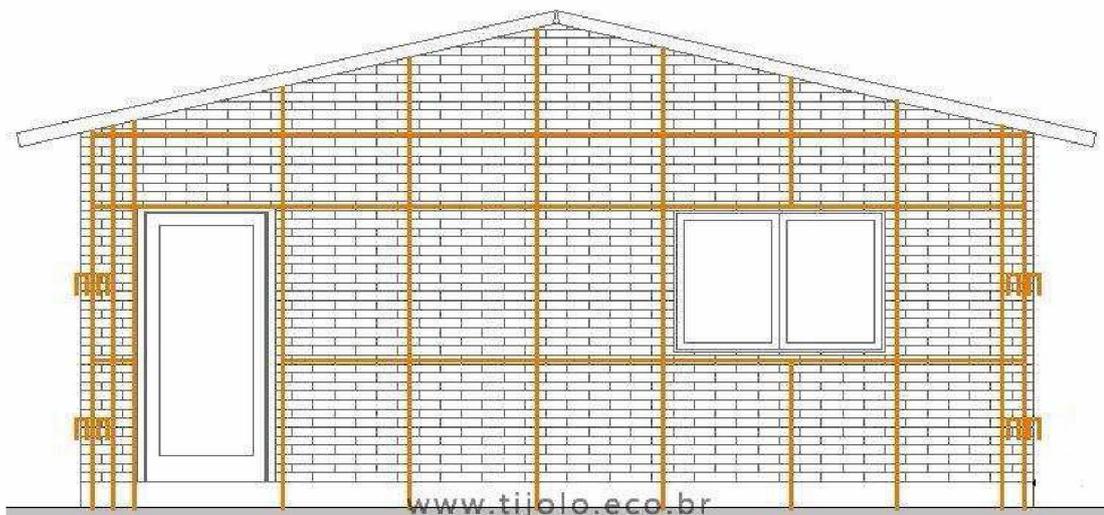


Figura 36– Desenho esquemático da malha estrutural do sistema construtivo modular
Fonte: (SOLO-CIMENTO, 2013)

5.5.8 Aspectos estéticos da alvenaria ecológica (Acervo Fotográfico)

Para demonstração visual do rendimento estético da alvenaria ecológica, segue algumas fotos (Figuras 37, 38, 39 e 40) de diferentes modelos de casa com esse tipo de alvenaria utilizando apenas resina protetora como acabamento. É possível notar o quanto o tijolo ecológico é versátil e adaptável aos diferentes estilos de arquitetura e classes sociais.

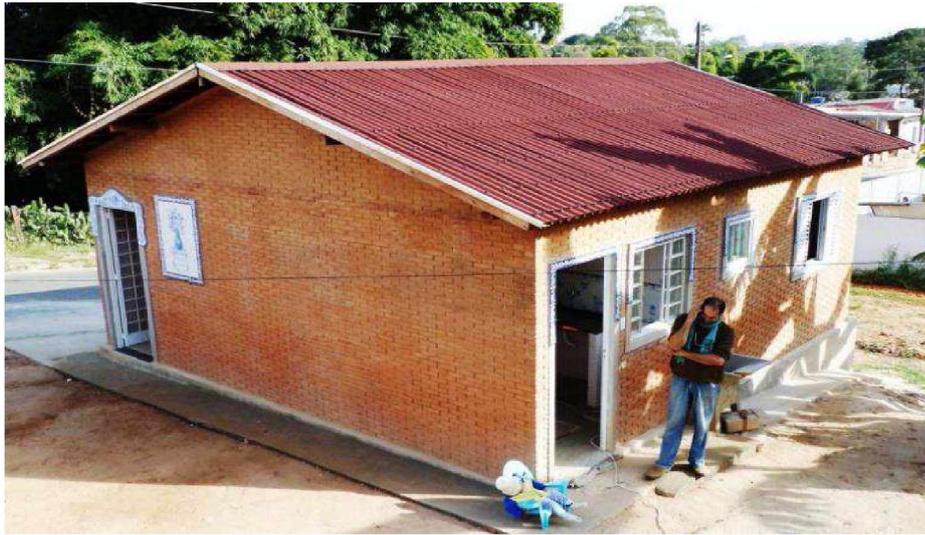


Figura 37– Casa popular com alvenaria ecológica
Fonte:(HABITISSIMO, 2017)



Figura 38 – Casa pequena com alvenaria de tijolo ecológico
Fonte: (PIXABAY,2017)



Figura 39 – Cozinha de casa com alvenaria ecológica
Fonte: (HABITISSIMO, 2017)



Figura 40 – Casa com dois pavimentos de alvenaria ecológica
Fonte: (TUDO CONSRTUÇÃO, 2017)

6 COMPARATIVO PRÁTICO DO TIJOLO CONVENCIONAL CERÂMICO E TIJOLO ECOLÓGICO SOLO-CIMENTO

Partindo de pesquisas bibliográficas que dão respaldo à viabilidade de utilização do tijolo ecológico, serão destacadas de forma qualitativa e quantitativa suas vantagens em relação a aplicação do tijolo cerâmico convencional. Além de analisar o impacto ecológico desse tipo de alvenaria, será utilizada o projeto de uma habitação popular para fazer o comparativo entre o custo de construção desses dois tipos de alvenaria.

A ideia é convencer não só o proprietário do projeto em questão como a sociedade em geral e os empresários do ramo da construção civil na ilha de São Luís (MA). Como é sabido, as alvenarias com blocos cerâmicos são popularmente utilizadas para as obras de habitação em todo o país, devido à facilidade de acesso aos materiais que são cedidos pela maioria maciça das empresas de construção civil.

6.1 Comparativo de custo

O projeto utilizado para realização do comparativo de custo está em fase de ante projeto e se refere a uma habitação popular que será construída em Panaquatira, São Luís – MA. Ela possuirá 57,04 m² construídos, área de alvenaria de 60 m² (Figura 42) e pé direito de 3,30 metros. Abaixo segue um corte em perspectiva (Figura 41) do projeto criado pelo estudante universitário Danilo Palavra Cruz de Carvalho, por meio do programa de modelagem *Sketch Up*. No Anexo B constam outras perspectivas e planta devidamente cotadas.

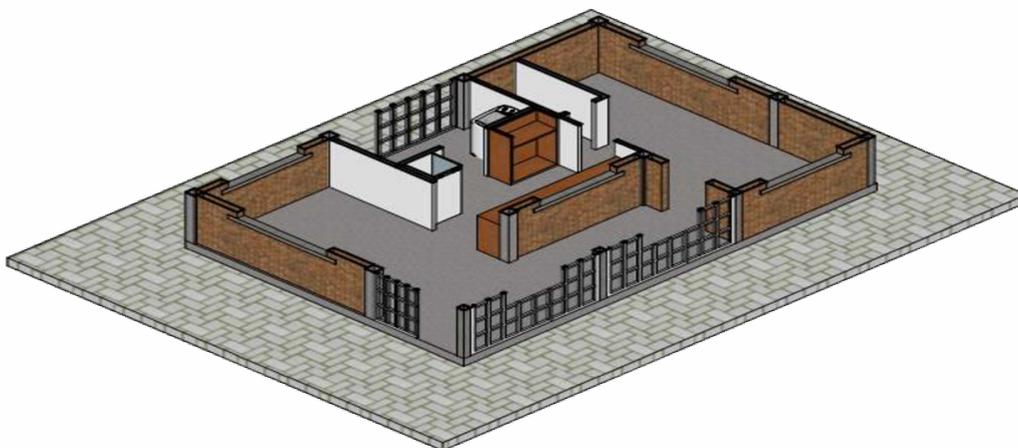


Figura 41 – Corte de perspectiva isométrica.
Fonte: Imagem cedida por Danilo Palavra, 2017.

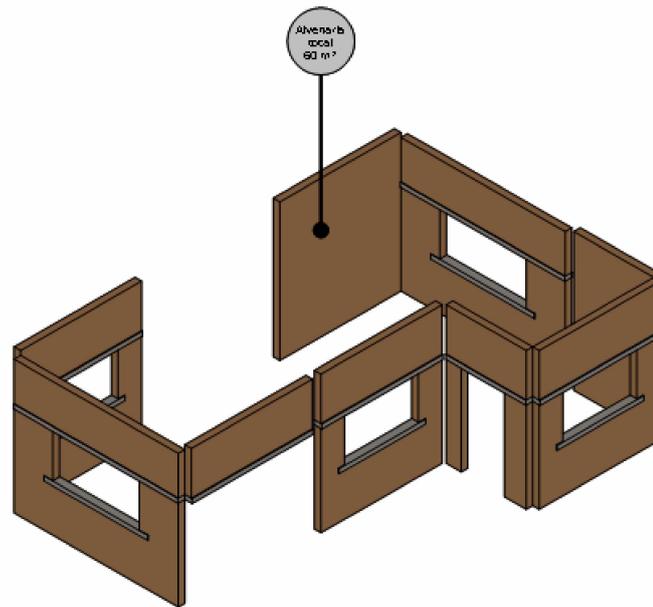


Figura 42 - Alvenaria total em perspectiva isométrica
 Fonte: Imagem cedida por Danilo Palavra, 2017.

Para análise do custo, será estimado apenas o quantitativo relacionado à alvenaria, revestimentos e elementos estruturais (tendo fundação e lajes como exceção). Esses componentes representam aproximadamente 35 % do custo total da construção de uma habitação popular. As planilhas orçamentárias foram feitas no programa *Word Excel* e para a coleta dos quantitativos de insumos e serviços, foram utilizados como base as tabelas de valores referenciais para cálculo estrutural de obras que constam no Sistema Construtivo Modular Jarfel (Anexo A), tabelas da plataforma virtual ORSE (Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe) e o banco de dados do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), utilizando como Referência o relatório de Outubro de 2017. Vale ressaltar que para o cálculo das variáveis que giram em torno da alvenaria, não se englobou a infraestrutura do loteamento, a adição de impostos e encargos complementares e, no caso do tijolo modular, não foi considerada a produção *in loco* dos blocos, e sim comprando os materiais de um fornecedor hipotético em São Luís, visando comparar com o mercado de tijolo cerâmico local.

6.1.1 Orçamento - Alvenaria Convencional Cerâmica

Para o orçamento da Alvenaria Convencional, serão utilizados blocos cerâmicos furados com dimensões 14x9x19cm (espessura 14cm, bloco deitado) e argamassa de assentamento com preparo manual. Para o revestimento foi determinada o reboco com traço

1:3 (cimento:areia média) com espessura 1,5 cm e argamassa também com preparo manual. Já o acabamento ficou definido por 01 (uma) demão de selador acrílico, 01 (uma) demão de textura acrílica branca e 02 (duas) demãos de tinta PVA látex convencional. Como o proprietário informou a possível necessidade futura da construção de outro pavimento, a superestrutura consiste no pré-dimensionamento de 13 vigas e 10 pilares com seções e outras informações relacionados na Tabela 4.

VIGA	QUANT (UND)	ALTURA (M)	ESPESSURA (M)	ÁREA DA SEÇÃO (M ²)	COMPRIMENTO (M)	VOLUME UNITÁRIO (M ³)	VOLUME TOTAL (M ³)
V1	4,00	0,40	0,15	0,06	4,00	0,24	0,96
V2	7,00	0,30	0,15	0,05	3,00	0,14	0,95
V3	2,00	0,20	0,15	0,03	2,00	0,06	0,12
VOLUME TOTAL DE VIGAS (m ³):							2,025
PILAR	QUANT (UND)	ALTURA (M)	ESPESSURA (M)	ÁREA DA SEÇÃO (M ²)	COMPRIMENTO (M)	VOLUME UNITÁRIO (M ³)	VOLUME TOTAL (M ³)
P1	15,00	0,15	0,15	0,0225	3,20	0,07	1,08
VOLUME TOTAL DE PILARES (M ³):							1,08
VOLUME TOTAL DE CONCRETAGEM (M³):							3,105

Tabela 4 – Dimensões geométricas das vigas e pilares pé-dimensionadas no projeto

Fonte: Produzida pelo próprio autor

O resultado do orçamento analítico total para a construção de alvenaria convencional no projeto em questão está detalhado abaixo, na Tabela 5.

ALVENARIA CONVENCIONAL: TIJOLO CERÂMICO							
1	ALVENARIA						R\$ 4.739,08
1.1	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 14X9X19CM (ESPESSURA 14CM) DE PAREDES E ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO COM PREPARO MANUAL.				M²	ÁREA DE ALVENARIA (M²):	60,00
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNDIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL
1.1.1	7267	SINAPI	BLOCO CERÂMICO	UND	56,62	0,19	R\$ 10,76
1.1.2	1379	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	2,44	0,46	R\$ 1,12
1.1.3	370	SINAPI	AREIA MÉDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	M³	0,02	76,50	R\$ 1,30
1.1.4	1106	SINAPI	CAL HIDRATADA CH-I PARA ARGAMASSAS	KG	2,55	0,67	R\$ 1,71
1.1.5	88316	SINAPI	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,36	12,87	R\$ 17,53
1.1.6	88309	SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	2,72	17,10	R\$ 46,56
							R\$ 78,98
2	REVESTIMENTO						R\$ 7.347,10
2.1	REBOCO TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA MÉDIA), ESPESSURA 1,5CM, PREPARO MANUAL DA ARGAMASSA				M²	ÁREA DE REBOCO:	120,00
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNDIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL
2.1.1	1379	SINAPI	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	1,00	0,46	R\$ 0,46
2.1.2	88629	SINAPI	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA MÉDIA), PREPARO MANUAL. AF_08/2014	M²	0,02	400,19	R\$ 6,00
2.1.3	88316	SINAPI	SERVEANTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,90	12,87	R\$ 11,58
2.1.4	88309	SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,90	17,10	R\$ 15,39
							R\$ 33,44
2.2	PINTURA, SOBRE PAREDES, COM LIXAMENTO, APLICAÇÃO DE 01 DEMÃO DE LÍQUIDO SELADOR ACRÍLICO, 01 DEMÃO DE TEXTURA ACRÍLICA BRANCA E 02 DEMÃOS DE TINTA PVA LATEX CONVENCIONAL				M²	ÁREA DE PINTURA (M²):	120,00
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNDIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL
2.2.1	2282	ORSE	PREPARO DE SUPERFÍCIE COM LIXAMENTO E APLICAÇÃO DE 01 DEMÃO DE LÍQUIDO SELADOR ACRÍLICO	M²	1,00	5,59	R\$ 5,59
2.2.2	2283	ORSE	APLICAÇÃO DE 01 DEMÃO DE TEXTURA ACRÍLICA	M²	1,00	11,02	R\$ 11,02
2.2.3	2285	ORSE	PINTURA DE ACABAMENTO COM APLICAÇÃO DE 02 DEMÃOS DE TINTA PVA LATEX PARA INTERIORES - CORES CONVENCIONAIS	M²	1,00	11,18	R\$ 11,18
							R\$ 27,79
3	SUPERESTRUTURA						R\$ 4.372,00
3.1	VIGAS E PILARES			UNDIDADE	QTD	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
3.1.1	92775	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO, AÇO CA-60 DE 5,0 MM - MONTAGEM.	KG	97,81	6,26	R\$ 612,27
3.1.2	92778	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO, AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM.	KG	181,64	5,67	R\$ 1.029,91
3.1.3	92718	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM BALDES COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	M²	1,08	456,37	R\$ 492,88
3.1.4	92741	SINAPI	CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=20 MPA, COM BALDES, LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO.	M²	2,03	489,59	R\$ 991,42
3.1.5	92446	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE VIGA, ESCORAMENTO COM PONTALETE DE MADEIRA, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 1 UTILIZAÇÃO.	M²	7,75	128,14	R\$ 992,57
3.1.6	92408	SINAPI	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES COM ÁREA MÉDIA DAS SEÇÕES MENOR OU IGUAL A 0,25 M², PÉ-DIREITO SIMPLES, EM MADEIRA SERRADA, 1 UTILIZAÇÃO.	M²	1,92	131,74	R\$ 252,94
							R\$ 4.372,00
TOTAL DE EXECUÇÃO DE ALVENARIA CONVENCIONAL:							R\$ 16.458,19

Tabela 5 – Planilha orçamentária para execução de alvenaria convencional cerâmica.

Fonte: Produzida pelo próprio autor

6.1.2 Orçamento – Alvenaria Ecológica de Solo-Cimento

Na proposta de Alvenaria Ecológica, foram utilizados tijolos modulares de modelo “canaleta” para realização das cintas de amarração e tipo “padrão” para o restante da alvenaria. Para a referência de custo do bloco ecológico de solo-cimento, foi utilizado o site da Monteiro Construções, empresa com sede em Salto - SP. O valor unitário do bloco é de R\$ 0,75, com pagamento antecipado e sem frete interestadual incluso.

No assentamento dos blocos foi utilizada cola branca PVA. Vale ressaltar a dificuldade de coletar informações referentes aos coeficientes de rendimento para mão de obra do Sistema Construtivo Modular nas fontes do SINAPI e ORSE. Tendo isso em vista, nessa composição foram utilizados itens (pedreiro e servente) com descrição e valores unitários equivalentes à composição de tijolo convencional da tabela do SINAPI, porém com valores de coeficientes alterados de acordo com informações coletadas no site da Monteiro Construções. Essa alteração se dá em função da praticidade e eficiência construtiva do Sistema Construtivo Modular.

Já no âmbito estrutural da obra, como as distâncias entre as colunas grauteadas são em média 01 (um) metro e o perímetro da alvenaria possui 28,1 m, foram determinadas 28 colunas sólidas grauteadas, com 3,2 metros de altura cada uma, totalizando 89,6 metros para o grauteamento de colunas com 6,7 de diâmetro. Como consta no Anexo A, cada coluna sólida de 2 tijolos com 3 metros de altura, 1 barra de ferro 5/16” (8mm) e 79 litros de concreto, suporta em média 12 toneladas de compressão. O grauteamento das cintas de amarração foi feito em tijolo canaleta com dimensões 12,5x25x6,2 cm. Já no acabamento, para o aproveitamento da estética rústica, foi determinada para o acabamento apenas a impermeabilização com tinta à base de resina epóxi e rejuntamento com rejunte pronto. Segue abaixo a planilha orçamentária (Tabela 6):

ALVENARIA ECOLÓGICA: TIJOLO SOLO-CIMENTO								
1	ALVENARIA						R\$	4.609,21
1.1	ASSENTAMENTO DE ALVENARIA COM TIJOLO MODULAR DE SOLO-CIMENTO, TIPOS PADRÃO E CANALETA, MODELO (12,5 X 25 X 6,2), GRAUT DIÂMETRO 6,7CM			M²	ÁREA TOTAL DE ALVENARIA:		60,0	
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL	
1.1.1		S.C.M.J	TIJOLO MODULAR PADRÃO	UND	64,0000	0,75	R\$ 48,00	
1.1.2		S.C.M.J	TIJOLO MODULAR CANALETA	UND	4,0000	0,79	R\$ 3,16	
1.1.3	88316	SINAPI/MONTEIRO	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1451	11,96	R\$ 1,74	
1.1.4	88309	SINAPI/MONTEIRO	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1295	16,20	R\$ 2,10	
1.1.5	11849	SINAPI/S.C.M.J	COLA BRANCA BASE PVA	KG	1,8800	11,61	R\$ 21,83	
							R\$ 76,82	
2	ESTRUTURA						R\$	5.777,17
2.1	GRAUTEAMENTO DE COLUNAS SÓLIDAS, DIÂMETRO 6,7CM			M	DIMENSÃO DE COLUNAS SÓLIDAS:		89,60	
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL	
2.1.1	367	SINAPI/S.C.M.J	AREIA MÉDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR	M³	0,0042	25,00	R\$ 0,11	
2.1.2	1379	SINAPI/S.C.M.J	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	1,9400	0,50	R\$ 0,97	
2.1.3	4720	SINAPI/S.C.M.J	PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA	M³	0,0014	71,25	R\$ 0,10	
2.1.4	88316	SINAPI/MONTEIRO	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,9110	11,96	R\$ 10,90	
2.1.5	88309	SINAPI/MONTEIRO	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,1100	16,20	R\$ 17,98	
2.1.6	38	SINAPI/S.C.M.J	ACO CA-60, 8,0 MM (5/16"), VERGALHAO	KG	1,5770	3,78	R\$ 5,96	
							R\$ 36,01	
2.2	GRAUTEAMENTO DE CINTAS DE AMARRAÇÃO, TIJOLO MODULAR CANALETA (12,5x25x6,2)			M	DIMENSÃO DE CINTAS DE AMARRAÇÃO:		84,30	
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL	
2.2.1	370	SINAPI/S.C.M.J	AREIA MÉDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR	M³	0,0013	25,00	R\$ 0,03	
2.2.2	1379	SINAPI/S.C.M.J	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	0,6100	0,50	R\$ 0,31	
2.2.3	4720	SINAPI/S.C.M.J	PEDRISCO (4,8 A 9,5 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR	M³	0,0004	71,25	R\$ 0,03	
2.2.4	39	SINAPI/S.C.M.J	ACO CA-60, 5,0 MM (3/16"), VERGALHAO	KG	0,3080	3,27	R\$ 1,01	
2.2.5	88316	SINAPI/MONTEIRO	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,9110	11,96	R\$ 10,90	
2.2.6	88309	SINAPI/MONTEIRO	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,1100	16,20	R\$ 17,98	
							R\$ 30,25	
3	REVESTIMENTO						R\$	2.726,81
3.1	IMPERMEABILIZAÇÃO COM PINTURA A BASE DE RESINA EPOXI ALCATRAO, DUAS DEMAOS.			M²	ÁREA DE ALVENARIA IMPERMEABILIZADA:		120,00	
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL	
3.1.1	154	SINAPI	TINTA/REVESTIMENTO A BASE DE RESINA EPOXI COM ALCATRAO, BICOMPONENTE	L	0,7200	22,60	R\$ 16,27	
3.1.2	88270	SINAPI	IMPERMEABILIZADOR COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,6000	7,17	R\$ 4,30	
							R\$ 20,57	
3.2	REJUNTAMENTO COM REJUNTE PRONTO			M²	ÁREA DE ALVENARIA REJUNTADA:		120,00	
ITEM	CÓDIGO	FONTE	DESCRIÇÃO	UNIDADE	COEF.	PREÇO UNITÁRIO	SUBTOTAL	
3.2.1	34356	SINAPI	REJUNTE BRANCO, CIMENTICIO	KG	0,2000	2,86	R\$ 0,57	
3.2.2	88309	SINAPI	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2200	7,17	R\$ 1,58	
							R\$ 2,15	
TOTAL DE EXECUÇÃO DE ALVENARIA COM TIJOLO SOLO-CIMENTO							R\$	13.113,19

Tabela 6 – Planilha orçamentária para execução de alvenaria ecológica de solo-cimento.

Fonte: Produzida pelo próprio autor

6.1.3 Resultados e discussões

Com os orçamentos devidamente detalhados, no caso de se optar pela aplicação da alvenaria de tijolo ecológico, ele terá uma economia de 22% no custo total de construção (Tabela 7).

TOTAL DE EXECUÇÃO DE ALVENARIA CERÂMICA CONVENCIONAL:	RS	16.758,93
TOTAL DE EXECUÇÃO DE ALVENARIA COM TIJOLO SOLO-CIMENTO:	RS	13.113,19
ECONOMIA		22%

Tabela 7 – Relação da economia de custo entre a execução de alvenaria convencional e da ecológica.
Fonte: Produzida pelo próprio autor

Assim, apesar do custo unitário do tijolo ecológico ser quase 4 (quatro) vezes maior que o tijolo convencional cerâmico, ao levar em considerações todas as variáveis que giram em torno desses dois sistemas de construção – tempo de construção, mão de obra, aspectos estruturais e outros materiais -, de acordo com o comparativo de custos, torna-se comprovada a viabilidade econômica da alvenaria de solo-cimento. Diversos estudos indicam que existe uma economia significativa no tempo de conclusão da obra, utilizando esse promissor tipo de alvenaria. De acordo com ANITECO (2017), essa redução pode chegar em média até 30% mais rápido que o modo construtivo convencional, implicando diretamente na quantidade de mão de obra necessária para a execução da obra. Outro item que se mostrou vantajoso no uso dos tijolos ecológicos é a economia de até 50% da argamassa do rejunte e uma forma simplificada de se elevar a alvenaria, dando oportunidade de utilizar também metade da mão de obra especializada que comumente é solicitada.

É importante ressaltar que por conta do desfalque estrutural de empresas que fabriquem esse tipo de material ecológico, foi utilizada a Monteiro Construções como referência. O frete não foi incluso no orçamento visando justamente deixar claro para os consumidores, e conseqüentemente aos empresários do ramo de material de construção, que, com alguma hipotética empresa local instalada aos arredores da cidade de São Luís, se torna muito viável a fomentação da cultura de alvenaria ecológica.

Já com as viabilidades econômicas ecológicas e técnicas comentadas no corpo do referencial teórico, com todo o orçamento e ressalvas aqui já descritas, verifica-se então a comprovação em relação ao custo vantajoso de execução de uma casa popular utilizando a alvenaria de tijolo ecológico. Nesse sentido, após tais resultados, parte-se agora para uma análise de impactos ambientais causados pela fabricação de tijolos no Brasil, visando demonstrar o quanto a indústria de tijolo cerâmico pode ser prejudicial ao manejo da sustentabilidade no planeta.

6.2 Impactos ambientais causados por fabricação de materiais construtivos

É conveniente analisar nesse trabalho o impacto ambiental causado pela utilização dos dois tipos de tijolos em questão. Vale ressaltar que analisar a sustentabilidade de determinado sistema é um desafio complexo, visto que a visão obtida pelos pesquisadores da área, em busca da relação entre os âmbitos econômico, social e ambiental, é pluridimensional, o que contém uma enorme quantidade variável a serem identificadas, colhidas e estudadas.

Para CIB (1999), é de fundamental importância o desenvolvimento de conhecimentos para sistematização e determinação das complexas e diversas relações internas decorrentes das variáveis envolvidas no subsistema de produção de materiais da construção civil. A Figura 43 explana de forma simples as várias questões incluídas ao se abordar uma ótica sustentável dentro do âmbito da construção civil.

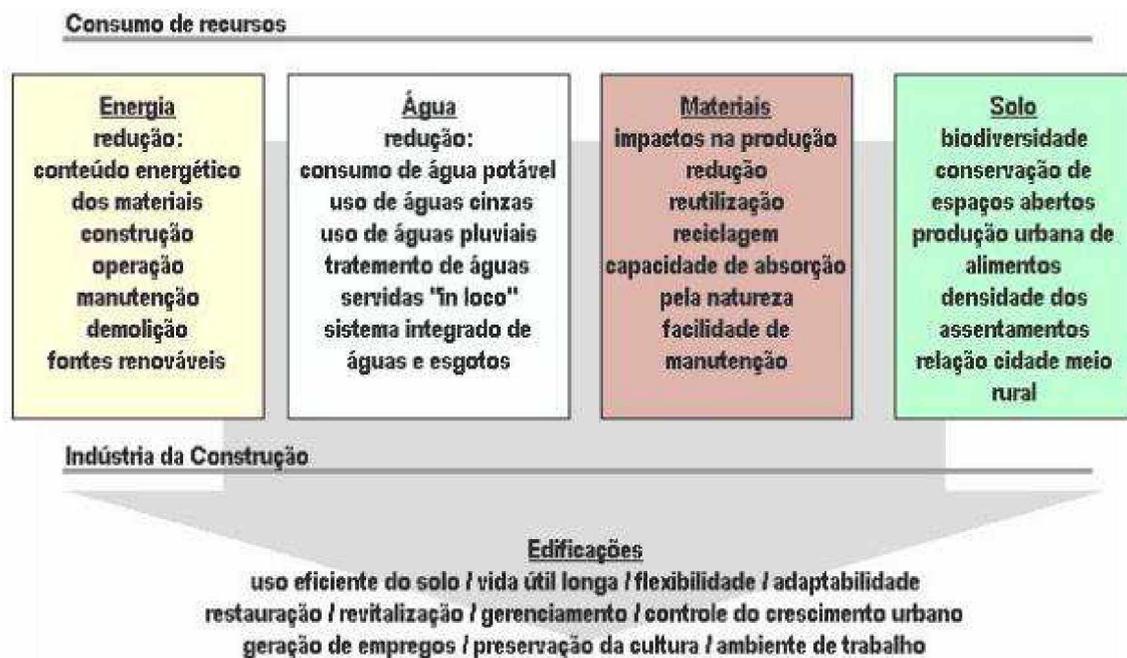


Figura 43 – Aspectos que relacionam o desenvolvimento sustentável com a construção civil
Fonte: (SEDREZ, 2004)

Ainda de acordo com CIB (1999) os principais pontos para alcançar a diretriz da construção ecológica são:

- Utilização de materiais renováveis, reutilizáveis ou abundantes;
- Facilidade de desmontagem;
- Padronização de dimensões;
- Baixo conteúdo energético;

- Utilização de materiais não tóxicos.

Para isso, o autor destaca alguns objetivos, por parte dos integrantes da construção civil, que visam envolver as possibilidades oferecidas pelo conceito de construção sustentável:

- Minimizar o consumo energético no processo de produção;
- Reduzir ou eliminar as emissões aéreas também no processo produtivo;
- Diminuir o consumo de recursos minerais;
- Reduzir a geração de perdas e resíduos;
- Conservar as áreas naturais e a biodiversidade;
- Ampliar a vida útil das edificações;
- Focar na possibilidade de reciclagem do produto;
- Produzir materiais de fácil absorção pela natureza e com baixa toxicidade;
- Uso de recursos locais, visando diminuir o gasto de energia utilizada em fretagem de material;
- Promover a economia local.

Como a Engenharia Civil, no âmbito de materiais de construção, tem-se destacado pela grande necessidade de estudos nesse mote de impactos ambientais, foi criado há alguns anos um método para estudos de avaliação de sustentabilidade de produtos e processos construtivos: Análise do Ciclo de Vida (ACV).

6.2.1 Análise do Ciclo de Vida

Segundo Silva (2010), a Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma forma de avaliação das conseqüências ao meio ambiente causada por uma atividade ou produção de um material. Essa análise se dá pela identificação e quantificação dos impactos, assim como o consumo de recursos naturais, energia, geração de resíduos e emissões aéreas (Figura 44).

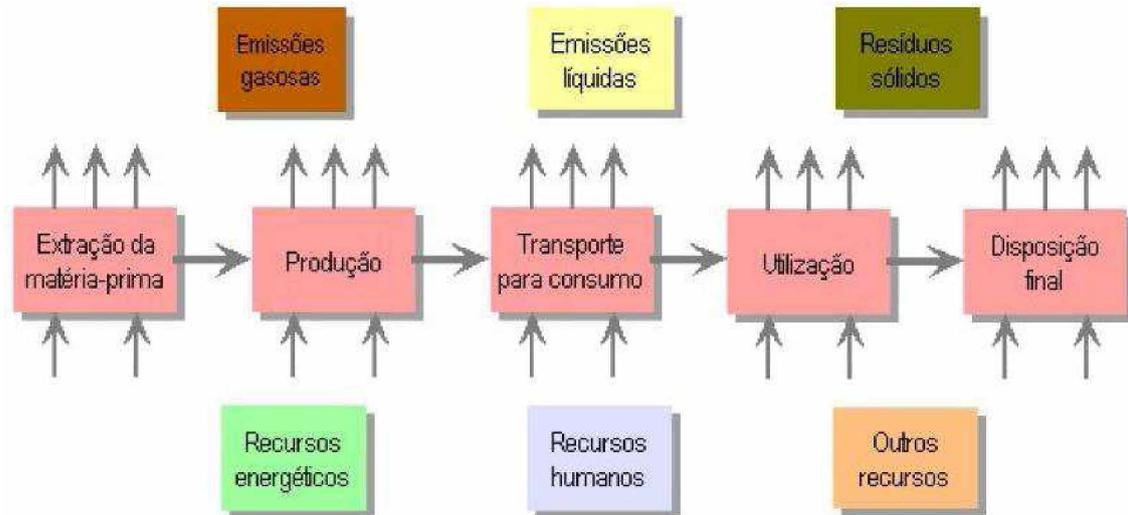


Figura 44 - Ciclo aberto de um produto
Fonte: (SEDREZ, 2004)

A ACV é regida por uma série de normas voluntárias da ISO 14040, criadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e seu objetivo é dar orientação às empresas que visam melhorar seu desempenho ambiental. Atualmente é uma ferramenta importante para avaliar e conceber métodos sustentáveis, analisando os ganhos e perdas de uma cadeia de produção. De acordo com Yuba (2005), a ACV apresenta deficiência por não possuir uma visão sistêmica na análise do sistema, entretanto ainda é o método que apresenta maior qualidade no processo de escolha de um material e seus status de impacto.

De acordo com Soares e Pereira (2004), a análise de repercussão ambiental de um determinado produto feita pela ACV parte de um inventário de entradas e saídas de um dado sistema. Esse método permite localizar alguma mudança eventual relacionada às diferentes fases cíclicas de um sistema, almejando avanços no seu perfil ambiental.

Ao estabelecer subjetivamente as fronteiras do sistema, e ao selecionar dados de diversas fontes e categorias, a ACV apresenta uma limitação, uma vez que os resultados com foco em questões globais podem não ser apropriados para sistemas locais. Essa limitação consta na própria norma que rege esse método, a NBR ISSO 14040 (ABNT, 2001). Contudo, para livrar os estudos de equívocos, de acordo com Grigoletti e Sattlker (2004), esse método requer uma determinação da unidade funcional adequada e da seleção de fronteiras para definição de fluxos de entrada e saída, elementos esses que serão parte do inventário.

6.2.2 Impactos ambientais causados pela indústria de tijolo cerâmico

Segundo Agopyan (1988), os materiais tradicionais cerâmicos, uma vez produzidos em grande escala, possui uma parte significativa do seu custo direcionado ao preço da energia consumida para sua produção, expedição e aplicação. O autor ressalta que os materiais que podem ser fabricados localmente (ou no canteiro, próprio lugar de utilização) e possuem baixo índice de consumo energético, como no caso do tijolo ecológico de solo-cimento, são relevantes para a redução de custos de um projeto.

De acordo com Tapia *et al.* (2000), a Tabela 8 a seguir demonstra quantitativamente, divididos por tipos de forno, o consumo energético médio para a produção de 1 (um) milheiro de tijolo cerâmico. É notável que o forno Paulistinha, o o mais utilizado nas orlarias, apresenta maior consumo médio e nível de perdas.

Tipo de forno	Consumo médio de energia por milheiro por tipo de forno				Perdas (%)
	Lenha (m ³)	Óleo BPF (kg)	GLP (m ³)	Gás natural (m ³)	
Paulistinha	1,5 a 2,0	250 a 375	220 a 330	280 a 420	16 a 18
Hoffmman s/ secador	0,5	62	55	70	16 a 18
Hoffmman c/ secador	0,9	103	91	116	8 a 9
Túnel	-	60	54	68	1

Tabela 8 – Consumo energético médio por tipo de forno, recursos energéticos e perdas
Fonte: (TAPIA *et al.*, 2000)

A norma ISO 14001 determina que impacto ambiental é toda modificação do meio ambiente, maléfica ou benéfica, resultante, parcial ou totalmente, das atividades, produtos ou serviços da organização, tais como:

- Poluição do ar;
- Desmatamento indevido da vegetação;
- Influência negativa na camada de ozônio;
- Poluição das águas;
- Contaminação das águas subterrâneas;
- Contaminação do solo;

A indústria da cerâmica vermelha vai de encontro os três primeiros aspectos citados a cima. Para realização do fluxograma que represente as etapas de fabricação do tijolo

cerâmico convencional (Figura 45), e os aspectos ambientais envolvidos, foram utilizadas 5 (cinco) diretrizes:

- Energia consumida
- Matéria prima
- Recursos humanos
- Recursos naturais
- Resíduos sólidos e gasosos

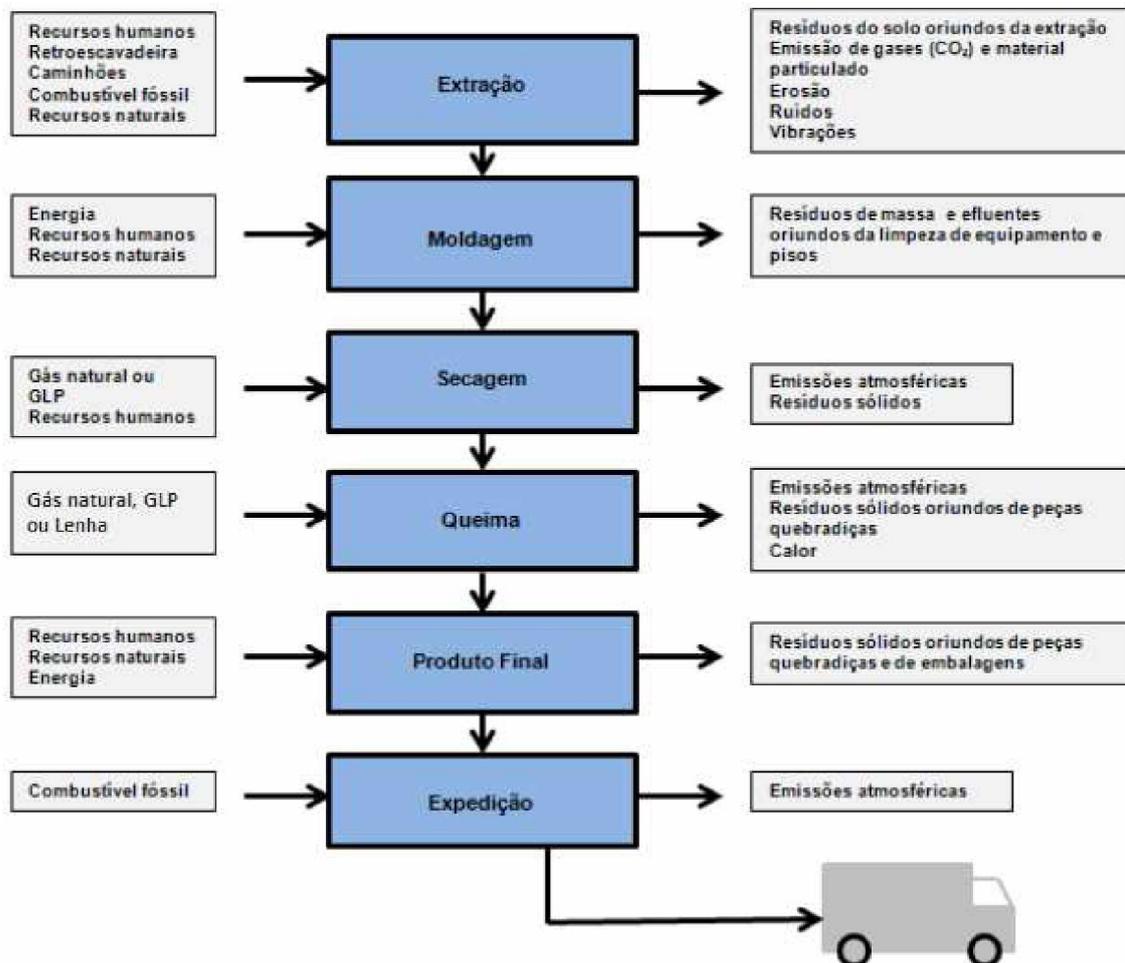


Figura 45– Fluxograma de etapas do processo de produção do tijolo convencional cerâmico
Fonte: SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS - BRT (2012, p. 20)

Tendo o fluxograma acima (Figura 45) como referência, para demonstrar os pontos que se divergem das ações e produtos antiecológicos oriundos da fabricação do tijolo cerâmico, foi realizado um fluxograma (Figura 46) indicando as diretrizes, etapas e produtos que são descartados nas fases de produção ao se fabricar o tijolo de solo-cimento.

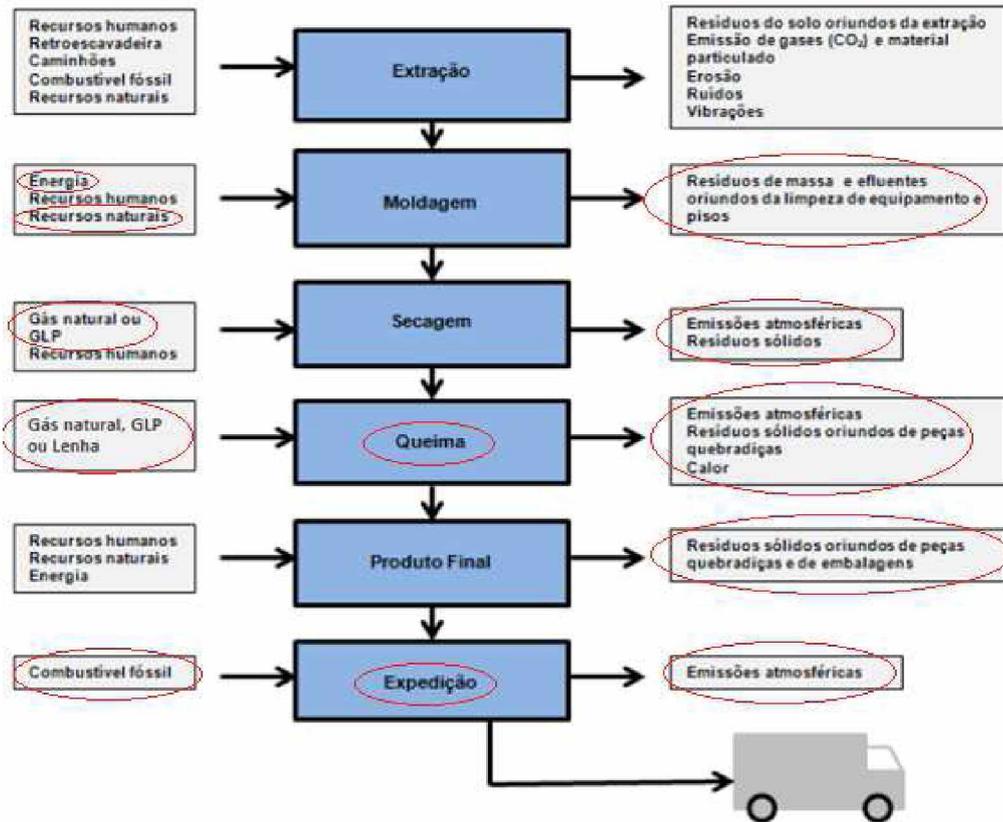


Figura 46 – Fluxograma representativo dos pontos descartados no processo de fabricação do tijolo solo-cimento. Fonte: Modificado pelo autor, a partir de SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS - BRT (2012, p. 20)

A tabela a seguir (Tabela 9) relaciona o valor da energia embutida (EE) nos materiais mais utilizados na construção civil. O bloco cerâmico convencional possui uma energia embutida 4 (quatro) vezes maior que a energia dos blocos de solo-cimento. Isso se deve justamente, como já dito antes, pela produção cerâmica, que utiliza altas temperaturas no processo de tratamento térmico.

Materiais	EE (MJ/m ³)
Aço	235.000
Areia	80
Bloco de concreto	2.000
Bloco de solo-cimento	1.020
Brita	247,5
Cal virgem	4.500
Cerâmica Vermelha	4.060
Cimento Portland	8.190
Concreto	2.760
Madeira	300

Tabela9 – Energia embutida, em MJ/m³, nos materiais da construção civil
Fonte:(CUNHA, 2016, p. 72)

Pode-se também, após conhecido os valores de energia embutida (EE), a relação do consumo primário em determinadas fontes de energia dos materiais construtivos. A Tabela 10 elenca essa relação em valores relativos:

Materiais	Fontes não renováveis							Fontes renováveis				
	Óleo diesel e Combustível	Gás natural	GLP	Coque de Petróleo	Outras	Carvão Mineral	Coque de Carvão Mineral	Eleticidade	Carvão vegetal	Lenha	Outras fontes renováveis	Outras
Aço e Ferro	1	6					71	10				12
Alumínio	21	7			4		10	54				4
Areia	99							1				
Argamassa	86			10				4				
Cal	12							8		80		
Cerâmica revestida	15	68	5					12				
Cerâmica vermelha	4		8					2		85		1
Cimento	3			61		8		12	9			7
Cobre	10	44					5	41				
Concreto	82			9				9				
Fibrocimento	84		2					14				
Impermeabilizadores	10	30			34			26				
Madeira	83							17				
Pedra	85							15				
Plástico	10	30			34			26				
Tintas	90							10				

Tabela 10 – Relação de materiais construtivos e emissões de CO₂ em determinadas fontes energéticas. Fonte: (CUNHA, 2016)

Vale ressaltar que a principal fonte primária de produção do tijolo cerâmico convencional é a lenha. Esta é uma fonte renovável, porém a extração acaba prejudicando os biomas. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (2015), a lenha, recurso florestal nativo, é a fonte energético mais predominante do bioma Caatinga chegando a representar 30% da matriz energética e 40% do parque industrial. O setor da indústria cerâmica representa em média 60% da demanda do setor industrial por lenha no bioma.

De acordo com a Agenda 21 (2001) do Ministério do Meio Ambiente, no Nordeste brasileiro, as olarias utilizam a vegetação nativa como combustível, contribuindo para a devastação de quase 1.000.000 km² (um milhão de quilômetros quadrados) de reservas como Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga. Entre as principais fontes de energia, a lenha é a 2^a que mais possui porcentagem de liberação de CO₂ para atmosfera em sua atividade energética. A seguir apresenta-se uma lista das emissões por fontes de energia (Tabela 11).

Fonte	CO ₂ (%)
Eletricidade	0,0181
Óleo Combustível (Diesel)	0,0798
Gás natural	0,0506
GLP	0,0633
Coque de carvão mineral	0,0915
Coque de petróleo	0,0726
Carvão Vegetal	0,051
Lenha	0,0816
Outros	0,0357

Tabela11 – Emissões relativas de CO₂ por fonte de energia.
Fonte: (CUNHA, 2016, p. 74)

Para relacionar os dois objetos em questão, Cunha (2016) quantificou todos seus índices de consumo energético e emissão de poluentes. A Tabela 12 mostra os resultados desse estudo:

Insumo	Consumo primário, em kg de CO ₂ /MJ (Tabela 3.3)	Geração de CO ₂ (Tabela 3.2)	EE _{C1} em kg de CO ₂ /MJ	EE (MJ/m ³) (Tabela 3.1)	Emissões de CO ₂ por materiais (kg de CO ₂ /m ³)
CERÂMICA VERMELHA					
Óleo diesel	0,0798	0,04	0,003192	4.060	12,96
Eletricidade	0,0816	0,02	0,001632		6,63
Total de emissões					19,59 kg de CO ₂ /m ³
BLOCO DE SOLO-CIMENTO					
Óleo diesel	0,0798	0,04	0,003192	1.020	3,26
Total de emissões					3,26 kg de CO ₂ /m ³

Tabela 12 – Emissões de CO₂ por materiais
Fonte: (CUNHA, 2016, p. 82)

A partir desse estudo, fica claro a discrepância nos impactos ecológicos entre esses dois produtos. O total de emissões em kg de CO₂ por metro cúbico gerado pela produção do tijolo cerâmico convencional é 6 (seis) vezes maior que o total de emissões produzido pela fabricação do tijolo ecológico.

7 CONCLUSÃO

Ao cabo deste trabalho foram explanadas todas as informações necessárias para destacar a simples forma de aplicação do tijolo solo-cimento, suas vantagens e a importância de utilizá-lo como alternativa ao tijolo cerâmico. Por meio da apresentação das peculiaridades no processo de produção do tijolo solo-cimento, do aperfeiçoamento técnico inovado pelo Sistema Construtivo Modular, da relevância ecológica em sua fabricação e considerável economia ao aplicá-lo para a construção de alvenarias, pode-se concluir que é de fundamental importância investir na cultura de sua utilização.

A partir da realização do comparativo de custos, ao se optar pela alvenaria ecológica, foi possível notar uma economia de 22% em relação às alvenarias convencionais. Apesar de o produto em si possuir valor unitário mais caro que o tijolo convencional, a vantagem financeira de sua aplicação, apresentada no comparativo de custos, foi ocasionada pela economia de materiais e elementos construtivos não utilizados no processo construtivo da alvenaria ecológica e menor custo com mão de obra – tendo a agilidade de execução da construção concedida pelo Sistema Construtivo Modular. Agregando valor aos materiais utilizados e maximizando os recursos disponíveis, o custo-benefício de alvenaria ecológica se mostrou maior que a alvenaria convencional.

Além da comprovação da vantagem financeira, através de uma pesquisa de estudos, foi constatada qualitativa e quantitativamente uma expressiva diferença das ofensas ambientais entre as fábricas de tijolo solo-cimento e olarias de tijolos convencionais. Para a produção destes, à base de cerâmica vermelha, são emitidos para a atmosfera 19,49kg de CO₂ por metro cúbico de material fabricado. Já na produção dos blocos de solo-cimento, o índice de emissão é de apenas 3,26 kg de CO₂ kg, por metro cúbico de material.

As análises apresentadas nesse trabalho demonstram como o tijolo de solo-cimento suscita uma próspera e potente promessa em sua sustentável e econômica aplicação na construção civil. Nesse sentido, visando reforçar e ampliar sua viabilidade de utilização, deve-se não só aprimorar as pesquisas acadêmicas que expliquem ainda mais suas vantagens, como focar na engenharia produtiva desses materiais, visando aperfeiçoar a tecnologia de produção das máquinas. Vale ressaltar também a importância de se estudar novas formas de composição dos elementos, aumentando ainda mais as propriedades e formas de aplicação do elemento solo-cimento nas diversas possibilidades das atividades construtivas e seus dilemas sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. **Fabricação de tijolos de solo cimento com a utilização de prensas manuais**. São Paulo: 1985. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/basicosobrecimento/historia.shtml>> Acesso em 11 out. 2017.

ABIKO, A.K. **Solo-cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas**. In: Construção São Paulo n.1863. Pini-SP, 1983.

ABNT. NBR ISO 14040. Gestão ambiental - **Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Origem: Projeto 38:0.05-001:2001 ABNT/CB-38 - Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental CE-38:0.05 - Comissão de Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida NBR ISO 14040 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework Esta Norma é equivalente à ISO 14040:1997 Válida a partir de 31

ABNT. NORMA BRASILEIRA, ABNT NBR 8491, **Tijolo de Solo-Cimento – Requisitos**. Segunda edição: 10.12.2012 / Válida a partir de: 10.01.2013. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36282/nbr8491-tijolo-de-solo-cimento-requisitos&email=>> Acesso em 20 out. 2017

AGOPYAN, V. Estudos de materiais de construção civil: materiais alternativos. In: **Tecnologia de edificações**. Projeto de divulgação tecnológica Lix da Cunha. São Paulo: PINI; Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Divisão de Edificações, 1988. p. 75-78

AGUILAR, Francisco. A opinião de Aguilar. **Youtube**, 18 fev. 2016. Disponível em <https://youtu.be/rYIFRxH1cE8>. Acesso em: 16 out. 2017.

ANITECO – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO TIJOLO ECOLÓGICO. **O Tijolo Ecológico**. 2017. Disponível em: <<http://www.aniteco.com/o-tijolo-ecologico/>>. Acesso em 25 out 2017.

BELLEN, H. M. v.. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV, 2005. 256p.

BRAJA, M. Das. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução da 6ª edição Norte-Americana. Tradução All Tasks. California State University, Sacramento – Thomson Learning Ltda, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21**. 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>> Acesso em: 10 set. 2017

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa na Caatinga promoverá uso florestal sustentável**. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/02/programa-na-caatinga-promovera-uso-florestal-sustentavel>> Acesso em 10 nov. 2017.

BRT – Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – DOSSIÊ TÉCNICO – “**Impactos Ambientais na indústria da Cerâmica Vermelha**” – Mônica Belo Nunes (Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC – 17/Fevereiro/2012. Disponível em: <<http://respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTcwNQ==>> Acesso em 12 out. 2017.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 1996. Volume 1. 6ª Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.

CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam, Netherlands: CIB, 1999. 120p. Report Publication 237.

CUNHA, Iasminy Borba. **Quantificação das emissões de CO2 na construção de unidades residenciais unifamiliares com diferentes materiais**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre RS, 2016.

DALMAS, Fabrício Bau *et al.* **Geoprocessamento aplicado à gestão de resíduos sólidos NA UGRHI-11** – Ribeira de Iguape e Litoral Sul São Paulo, UNESP, Geociências, v. 30, n. 2. 2011. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7200/6645>> Acesso em 12 mai. 2017.

ECO MÁQUINAS INDÚSTRIA. **Construções ecológicas: vigas e amarrações**. 2016. Disponível em: <<https://ecomaquinas.com.br/index.php/bra/construcao-ecologica-vigas-e-amarracoes>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

_____. **Tijolo ecológico – modelos de blocos e tijolos**. Disponível em: <<https://ecomaquinas.com.br/index.php/bra/tijolo-ecologico-modelos-de-blocos-e-tijolos>> Acesso em 12 nov. 2017.

ECOMODULAR. Construção modular. Disponível em: <<http://ecomodulartijolos.blogspot.com.br/p/modo-construtivo.html>> Acesso em 8 out. 2017.

ÉPOCA. **Desmatamento do Cerrado**. Alexandre Mansur. 29.05.2017. Link: <http://epoca.globo.com/tudo-sobre/noticia/2017/05/desmatamento-do-cerrado.html> Acesso em: 22 out. 2017

FHAJ - Fundação Hospital Adriano Jorge. **62 anos de História e Conquistas**. GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. 2015. Disponível em : < <http://www.fhaj.am.gov.br/fhaj-62-anos-de-historia-e-conquistas/>>. Acesso em: 10 nov de 2017

GRIGOLETTI, G.C.; SATTLER, M.A. Definição da unidade funcional e das fronteiras do sistema paravedações em blocos de concreto e blocos cerâmicos para análise do ciclo de vida. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**São Paulo: ANTAC, 2004. CD-ROM

GRIGOLETTI, Gian de Campos. **Caracterização de Impactos Ambientais de Indústrias de Cerâmica Vermelha do Estado do Rio Grande do Sul** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Porto Alegre, RS. 2001

HABITISSIMO. **Casa popular de 36m² com tijolos ecológicos de solo cimento em cambuquira.** 2017. Disponível em: <https://fotos.habitissimo.com.br/foto/casa-popular-de-36m-com-tijolos-ecologicos-de-solocimento-em-cambuquira_728037> Acesso em: 5 nov. 2017

JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho Multidisciplinar.** São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/apres1.htm>. Acesso em: 12 out. 2017.

_____. **O Meio Ambiente e a Reciclagem.** 2004. Disponível em <<http://www.pedrasul.com.br/artigos/sustentabilidade.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017

LABGEO. Laboratório de Mecânica dos Solos e Geotecnia - DECiv UFSCar. **Ensaio realizados.** 2017. Disponível em: <<http://www.labgeo.ufscar.br/ensaios.php?item=3>> Acesso em 12 out. 2017.

LAFAYETTE, Kalinny. **Ensaio de laboratório.** Mestrado em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco, 2006. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1831952/>> Acesso em 14 out. 2017.

LEPSCH, Igo Fernando. **Formação e conservação de solos.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

MONTESEUPROJETO. **Sistema construtivo. Tijolo ecológico.** 2015. Disponível em: <<http://www.monteseuprojeto.com.br/sistema-construtivo-%E2%80%93-tijolo-ecologico-parte-4/>> Acesso em 14 out. 2017.

MORAIS. Marcelo Brito; CHAVES. Armando Macêdo; JONES. Kimberly Marie; Análise de viabilidade de aplicação do tijolo ecológico na construção civil contemporânea. **Revista Pensar Engenharia**, v.2, n. 2, Jul./2014. Disponível em: <revistapensar.com.br/engenharia/edicoes-antiores/edi=8> Acesso em 21 out. 2017.

MOSAIC FERTILIZANTES. **Perfil do solo.** 2015. Disponível em: <<http://www.nutricaoodesafras.com.br/definicao-de-solo#overview>> Acesso em 18 out. 2017.

NBR 13553. **Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

NEVES, C.; *et al.* **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra - práticas de campo.** Rede Ibero-americana PROTERRA, 2005.

PINTEREST. **Tijolo ecológico.** 2017. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/401453754269620568/>> Acesso em 25 out 2017.

PISANI, Maria Augusta Juste. **Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento.** 2005. Disponível em: <http://www.aedificandi.com.br/aedificandi/N%C3%BAmero%201/1_artigo_tijolos_solo_cimento.pdf> Acesso em 14 out. 2017.

PIXABAY. **Casa de tijolo**. Disponível em: < <https://pixabay.com/pt/casa-de-tijolo-casa-casa-pequena-398124/>> Acesso em 23 out. 2017

PRESA, Marcello Bastos. **Resistência à compressão e absorção de água em tijolos de solo-cimento**. 2011. Universidade de Brasília - UnB. Faculdade de Agronomia e Veterinária - FAV. Brasília, DF. p. 14

RECRIAR. **Alvenaria de solo cimento**. 2015. Disponível em: <http://www.recriarcomvoce.com.br/blog_recriar/alvenaria-de-solo-cimento/> Acesso em 15 nov. 2017.

RIGASSI, Vincent: **Compressed earth blocks – manual of production**. CRATerre-EAG, vol.1, GATE/GTZ/BASIN, ISBN 3-528-02079-2, Alemanha, 1985.

SAHARA. **Sistema construtivo modular**. Disponível em: < <http://www.sahara.com.br/ideias-e-negocios/sistema-construtivo-modular/>> Acesso em 08 out. 2017.

SALA, L. G., **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários**. 2006. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SANTIAGO, Cybele Celestino. **O solo como material de construção**. Universidade Federal da Bahia. EDUFBA, 2001.

SCHELEDER, Paulo. **Quanto custa contratar arquiteto e engenheiro**. 2015. Disponível em: <<http://imoveisarenadogremio.blogspot.com.br/>> Acesso em 12 out. 2017.

SEDREZ, M.M. **Sustentabilidade do ambiente construído**: contribuições para a avaliação de empreendimentos habitacionais de interesse social. 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/6133>> Acesso em 12 out. 2017.

SILVA *et al.* **Avaliação do ciclo de vida: uma investigação bibliográfica dos trabalhos sobre a metodologia**. XXX Encontro Nacional de engenharia de produção – ENEGEP. 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_132_845_14993.pdf> Acesso em: 6 nov. 2017

SILVA, Luiz Eduardo Leite da. *et al.* **Sustentabilidade**. TCC. Centro Universitário Católica Salesiano Auxilium. Lins – SP, 2008. Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/biblioteca/monografias/46123.pdf>> Acesso em 12 out. 2017

SILVA, Sandra Regina. **Tijolo de solo-cimento reforçado com serragem de madeira**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2005. Disponível em: <<http://pos.dees.ufmg.br/defesas/239M.PDF>> Acesso em: 22 out. 2017.

SOARES, R.S.; PEREIRA S.W. Inventário da produção de pisos e blocos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n.2, p. 83-94, 2004.

SOLO-CIMENTO. **Cintas e percintas.** 2013. Disponível em: <<http://www.tijolosolocimento.com.br/2013/06/cintas-e-percintas.html>> Acesso em 10 nov 2017.

SOUZA, Thiago Augusto Corrêa Souza *et al.* **Análise preliminar da resistência à compressão de tijolos ecológicos fabricados no município de IPABA.** IJIE - Iberoamerican Journal of Industrial Engineering e Organizado por: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2011.

TAPIA R.S.E.C.*et al.* **Manual para a Indústria de Cerâmica Vermelha.** Série Uso Eficiente de Energia. Rio de Janeiro: Ed. Sebrae, 2000.

TARTUCE, Ronaldo. **Princípios básicos sobre concreto de cimento portland.** Editora Pini, São Paulo, 1990.

TEIXEIRA, M. F.; REIS, S. A.; FIGUEIREDO, F. M. **O uso de resíduos lignocelulosicos na produção de tijolos de adobe.** Rio Grande do Sul: 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2012.

THOMAZ, C. A. (1979). **Paredes monolíticas de solo-cimento: Hospital Adriano Jorge.** São Paulo. Publicações ABCP.

TUDO CONSTRUÇÃO. Disponível em: < <http://www.tudoconstrucao.com/wp-content/uploads/2014/10/Tijolos-ecol%C3%B3gicos.jpg>> Acesso em 14 nov. 2017.

UCHIMURA, M. S., **Dossiê Técnico – Solo-cimento.** Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), 2006.

VERDESAINE. **Manual de construção.** Disponível em: < <http://www.tijolo.eco.br/tijolo-ecologico/manual-de-construcao/>> Acesso em 12 out. 2017.

YUBA, A. N. **Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes de construção em madeira de plantios florestais.** Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), São Carlos. Universidade de São Paulo, CRHEA/USP, 2005.

ZORDAN, S. E. **Entulho da indústria da construção civil.** 2004. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho.ind.ccivil.htm>>. Acesso em: 4 out. 2017

ANEXOS

Anexo A – Sistema Construtivo Modular Jarfel

SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR ECOLÓGICO

A tecnologia de construção civil que proporciona ao construtor redução de 50% do tempo de execução da obra e economia financeira entre 30 a 50% do custo final.

JARFEL
MONTAGEM DE MÁQS. E EQUIPS. INCLS. LTDA.

CONSTRUINDO O FUTURO

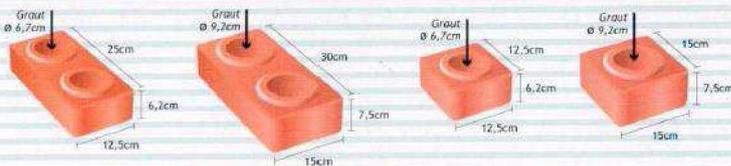
Rodovia Mogi Bertiooga Km 61,5 (SP.098) - Vila Moraes - Mogi das Cruzes - SP - Brasil
 Atual Rodovia Dom Paulo Rolim Loureiro nº1080 - Tel. + 55 (11) 4726-3733
 Tel. + 55 (11) 4726-4997 - Tel. + 55 (11) 4726-5096 - Cep: 08766-500
 email: contato@jarfel.com.br

Valores Referenciais para Cálculo Estrutural da Obra

Antes de iniciar sua obra procure consultar engenheiros, arquitetos ou calculistas para realizar o cálculo estrutural baseando-se nos valores referenciais abaixo, isso lhe garantirá qualidade e segurança.

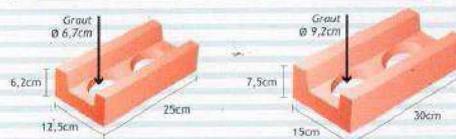
Tijolo Modular / Meio Tijolo

Modelo	Grauts	Ø Graut	Peso	Consumo
12,5 x 25 x 6,2	3 ton. por Graut (Furo)	6,7cm	2,5 Kg	64 por m ²
15 x 30 x 7,5	7 ton. por Graut (Furo)	9,2cm	3,8 Kg	44 por m ²
12,5 x 12,5 x 6,2	3 ton. por Graut (Furo)	6,7cm	1,3 Kg	6% do total tijolos
15 x 15 x 7,5	7 ton. por Graut (Furo)	9,2cm	2,2 Kg	6% do total tijolos



Canaletas (Vergas, Percintas)

Modelo	Grauts	Ø Graut	Peso	Consumo
12,5 x 25 x 6,2	3 ton. por Graut (Furo)	6,7cm	1,7 Kg	4 por metro linear
15 x 30 x 7,5	7 ton. por Graut (Furo)	9,2cm	2,8 Kg	3,5 por metro linear

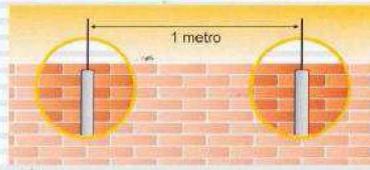


Deve-se calcular 1/8 do diâmetro do graut do tijolo a ser usado na obra para a escolha do ferro.

Ex: $6,7\text{cm} + 8 = 0,84\text{cm}$
 que é o diâmetro do ferro 5/16.

Valores Referenciais para Execução da Obra

Antes de executar sua obra procure consultar engenheiros ou construtores para cálculo de consumo e traço ideal de mistura de material básico, baseando-se nos valores referenciais para colunas, assentamento, cintas de amarração e revestimento, isso lhe garantirá economia de material e mão-de-obra.



Colunas

Material	Traço	Rendimento
Pedrisco	1,4 litros	1m de altura
Areia	4,2 litros	
Cimento	1,4 litros	
Ferro 5/16	1 barra de 3,0m por Graut a cada metro de parede	

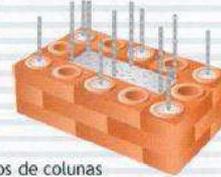
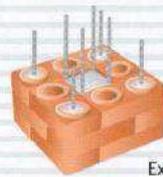
1 Colunas sólidas com 2 tijolos, suportam 12 toneladas de peso com 1 barra de ferro 5/16 e 79 litros de concreto para 3 metros de altura.



2 Colunas vazadas, de acordo com o cálculo estrutural, são montadas a partir dos valores estabelecidos de peso por graut, mais o meio vazado indicado pelo engenheiro.

12 toneladas graut
+ 13 meio vazado = 25 ton

18 toneladas graut
+ 27 meio vazado = 45 ton



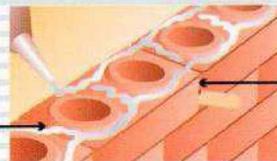
Exemplos de colunas



Assentamento

Material	Traço	Rendimento
Cola PVA	Balde de 50 Kg	94 m ²
Argamassa Especial	12 litros de solo + 1 litro de cimento + 1 litro de cola	5 m ²
Argamassa Pronta	Saco de 20 Kg	5 m ²

0,5cm de argamassa ou cola

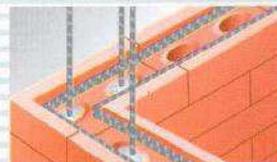


1 a 2mm de distância entre os tijolos para dilatação (palito de sorvete é muito utilizado para medir essa distância na primeira camada)



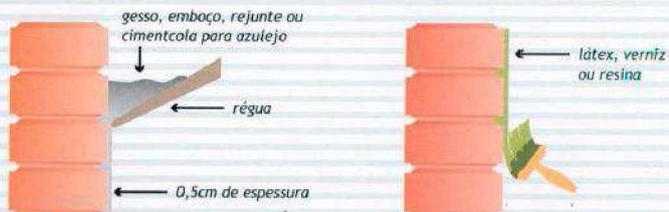
Cintas de Amarração

Material	Traço	Rendimento
Pedrisco	0,44 litros	1m linear
Areia	1,30 litros	
Cimento	0,44 litros	
Ferro 3/16 ou 1/4	2 barras por extensão, sendo 3 camadas por parede	



Revestimentos

Material	Traço	Rendimento
Gesso	Saco de 50 Kg. - ½ cm de espessura	10 m ²
Emboço	50 litros de massa - ½ cm de espessura	10 m ²
Azulejo	5 Kg de cimentcola direto na parede	1 m ²
Látex	1 galão de tinta direto na parede	15 m ²
Verniz para Tijolos	1 galão direto na parede	15 m ²
Resina	1 galão direto na parede	15 m ²
Rejunte	1 Kg de rejunte pronto	5 m ²



O Sistema Construtivo Modular transforma sua casa em uma verdadeira fortaleza, com ferros verticais e horizontais, deixando-a mais segura do que as construídas no Sistema Convencional. Laje e alicerce seguem os mesmos padrões de qualquer obra.

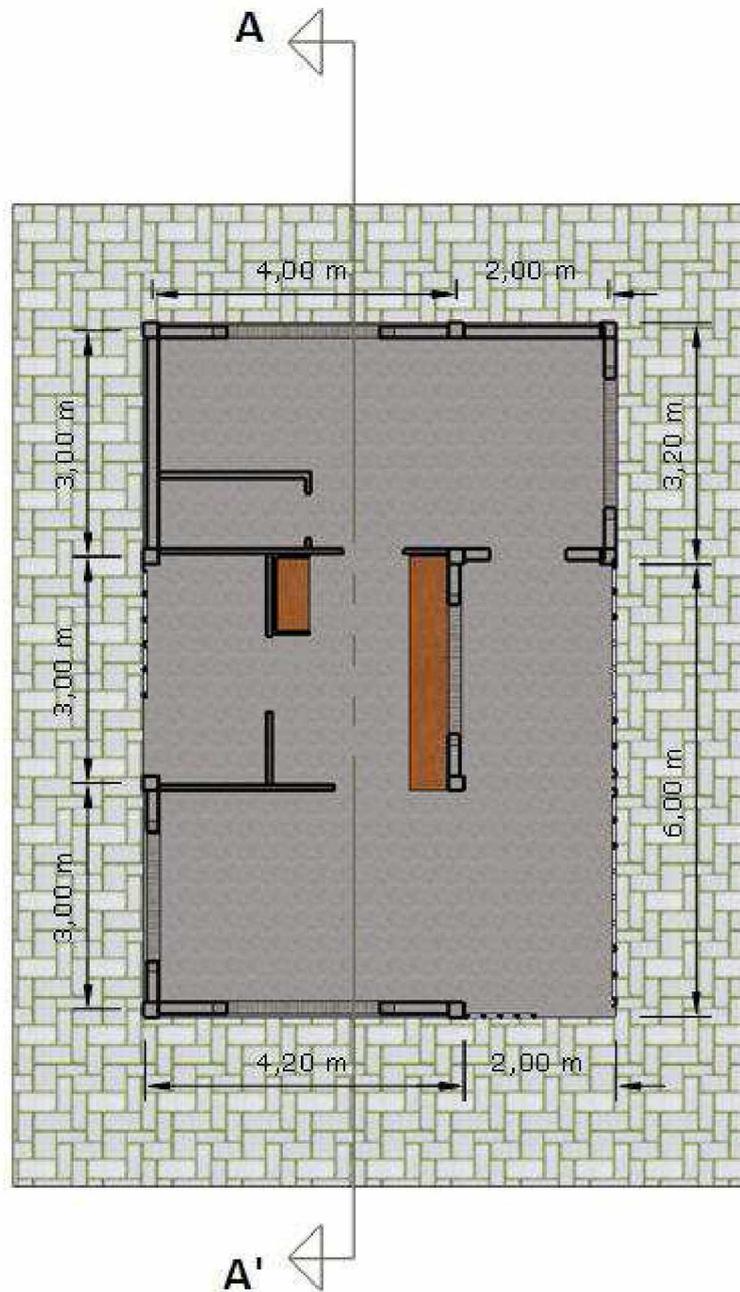


Direitos autorais de imagem, cedido e autorizado a utilização nesse catálogo pela empresa Jarfel tecnologia, a qual é a empresa criadora do método construtivo modular ecológico. Maiores informações ligue para +55 (11) 4726-3733



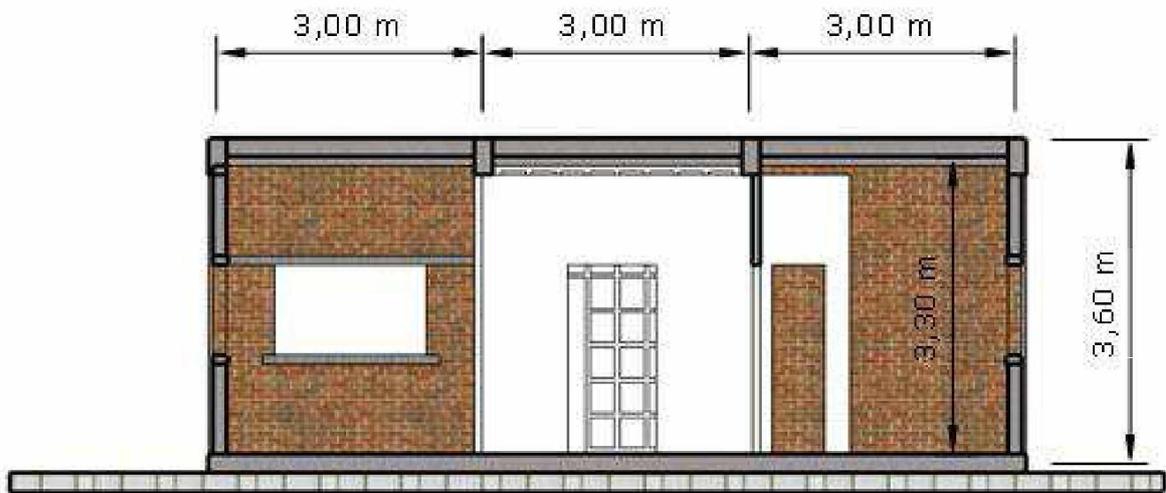
Anexo B – Planta baixa, corte, elementos estruturais e visão geral em perspectiva do projeto arquitetônico de casa popular utilizada para comparativo de custo.

- Planta baixa



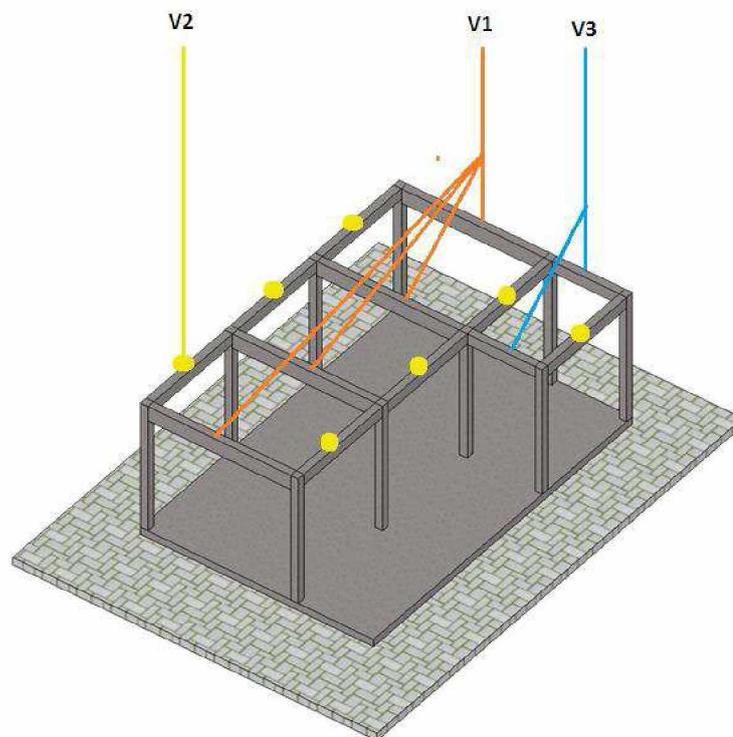
Fonte: Imagem cedida por Danilo Palavra, 2017.

- **Corte AA'**



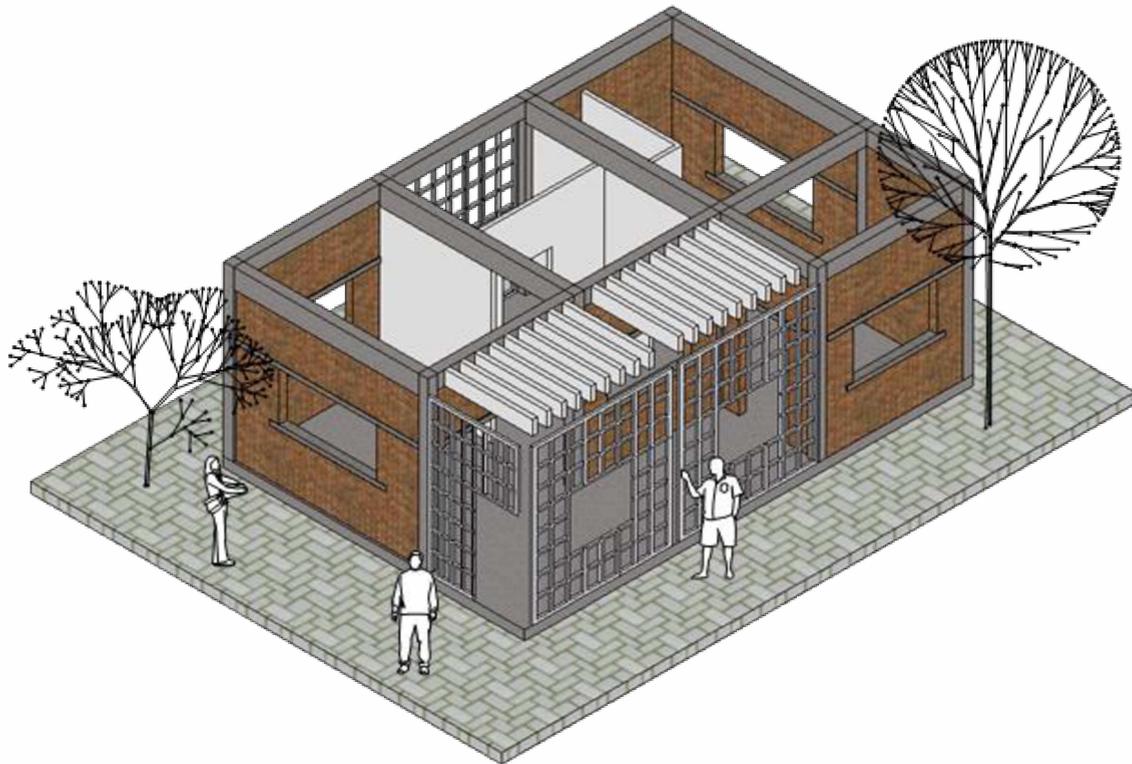
Fonte: Imagem cedida por Danilo Palavra, 2017.

- **Elementos estruturais (Vigas e pilares) envolvidos na construção da alvenaria convencional**



Fonte: Imagem cedida por Danilo Palavra, 2017.

- **Visão total em perspectiva (sem cobertura)**



Fonte: Imagem cedida por Danilo Palavra, 2017.