



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE MESTRADO

ANTONIO PAULO DE MENEZES CARVALHO

**COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE USO DE TIJOLOS DE SOLO-
CIMENTO E BLOCOS CERÂMICOS EM CONSTRUÇÕES POPULARES NA
CIDADE DO RECIFE - PE**

RECIFE

2023

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE MESTRADO

Antonio Paulo de Menezes Carvalho

**COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE USO DE TIJOLOS DE SOLO-
CIMENTO E BLOCOS CERÂMICOS EM CONSTRUÇÕES POPULARES NA
CIDADE DO RECIFE - PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Universidade Católica de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Dr. Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

Coorientador:

Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira

Recife

2023

C331c Carvalho, Antonio Paulo de Menezes

Comparativo de custos entre uso de tijolos de solo-cimento e blocos cerâmicos em construções populares na cidade do Recife – PE / Antonio Paulo de Menezes Carvalho, 2023.
97 f. : il.

Orientador: Joaquim Teodoro Romão de Oliveira
Coorientador: Romilde Almeida de Oliveira
Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil, 2023.

1. Alvenaria. 2. Olarias. 3. Construção de solo-cimento.
4. Engenharia ecológica. 5. Construção sustentável. I. Título.

CDU 624.012

Luciana Vidal - CRB 4/1338

TERMO DE APROVAÇÃO

ANTONIO PAULO DE MENEZES CARVALHO

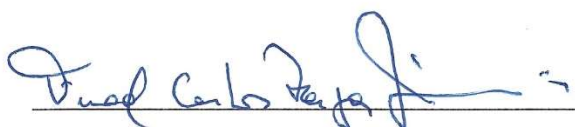
COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE USO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO E BLOCOS CERÂMICOS EM CONSTRUÇÕES POPULARES NA CIDADE DO RECIFE - PE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP) para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. A presente dissertação foi defendida e aprovada em 18 de Abril de 2023 pela banca examinadora constituída pelos professores doutores:



Orientador(a) e Presidente da Banca: Prof. Dr.

Joaquim Teodoro Romão de Oliveira



Tirular Interno(a) – Prof. Dr. Fuad Carlos Zarzar

Junior

Documento assinado digitalmente

gov.br

JOAO MANOEL DE FREITAS MOTA

Data: 21/06/2023 18:38:02-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Titular Externo(a) – Prof. Dr. João Manoel de Freitas
Mota

Recife

2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus Pais, Antônio Carlos e Dalva Lúcia, que são meus alicerces e meus maiores incentivadores. Também ao meu primo João Guilherme (in memoriam) e a prima Dra. Delma Torres (in memoriam), que muito me incentivaram nesta jornada, mas não puderam estar presentes até o final.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e da sabedoria, permitindo que eu encarasse este desafio.

Aos meus Pais, Antônio Carlos e Dalva Lúcia, que sempre me incentivaram aos estudos, e me apoiaram nas minhas escolhas.

Ao Prof.º Dr. Romilde Almeida de Oliveira por ter me orientado neste estudo e me cedido seu tempo, conhecimento e confiança para esta realização.

Ao Dr. Antonio Inácio Neto pelo apoio e motivação desde antes a graduação, e que até hoje me incentiva na carreira acadêmica.

Ao arquiteto Felipe Nogueira, por ter aberto as portas da sua empresa, sendo de grande ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso, tenho a agradecer pelas experiências compartilhadas, em especial a Raíssa Andrada, que desde a graduação têm me incentivado no meio acadêmico.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho pudesse ser finalizado.

Meus sinceros agradecimentos a todos.

RESUMO

Na busca por novos materiais de construção, tem-se observado cada vez mais os impactos gerados ao meio ambiente e as formas de reduzi-los. Nesta busca, terminou-se reconsiderando o uso de um dos primeiros materiais de construção civil utilizado pelo homem, o solo estabilizado, mas que entrou em desuso devido à evolução de outras tecnologias. Este trabalho estuda a viabilidade financeira do uso de tijolos modulares de solo-cimento, comparando esta técnica construtiva com uma técnica construtiva tradicionalmente utilizada, utilizando blocos cerâmicos, apontando as vantagens e desvantagens da utilização. Para esta comparação, foram elaborados orçamentos de uma residência popular, aplicando-se cada metodologia de construção sugerida, visando estabelecer um paralelo entre os custos construtivos e a segurança estrutural proporcionada por cada um deles. Os resultados obtidos mostram que há viabilidade financeira para produção e uso de tijolos de solo-cimento na indústria da construção civil atual, uma vez que os custos construtivos utilizando este método ficaram muito próximos dos custos utilizando o método tradicional em blocos cerâmicos, mesmo com a baixa disponibilidade e o alto custo do tijolo de solo-cimento.

Palavras-chave: Alvenaria, solo-cimento, tijolo ecológico.

ABSTRACT

Looking for new building materials, there has been increasing attention to the environmental impacts generated and ways to reduce them. In this search, the use of stabilized soil, one of the first construction materials used by humans but fell out of use due to the evolution of other technologies, has been reconsidered. This study examines the financial feasibility of using modular soil-cement bricks, comparing this construction technique with a traditionally used technique using ceramic masonry, pointing out the advantages and disadvantages of each. For this comparison, budgets were prepared for a low-cost house using each construction methodology, aiming to establish a parallel between the construction costs and the structural safety provided by each. The results obtained show that there is financial viability for the production and use of soil-cement bricks in the current construction industry, since the construction costs using this method were very close to those using the traditional method with ceramic masonry, even with the low availability and high cost of soil-cement masonry.

Keywords: soil-cement, masonry, ecological bricks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tijolos meia canaleta, canaleta J e canaleta U da marca Pauluzzi.....	22
Figura 2 – Família de blocos estruturais da marca Pauluzzi.....	22
Figura 3 – Blocos especiais da marca Paluluzzi	23
Figura 4 – Espalhamento do carregamento em painéis de alvenaria.....	27
Figura 5 – Exemplo de amarração em “T” indireta (a) e direta (b) em paredes de alvenaria estrutural.	28
Figura 6 – Exemplo de grautes verticais e horizontais em alvenarias estruturais	30
Figura 7 – Sistema com paredes: a) transversais, b) celulares, c) complexo	31
Figura 8 – Dimensões de tijolos modulares de solo-cimento. a) bloco comum e b) bloco canaleta	46
Figura 9 – Representação de fissuras características dos blocos.....	50
Figura 10 – Demonstração dos grautes utilizados no método construtivo utilizando tijolos vazados de solo-cimento. Para esta imagem, a visualização das peças de alvenaria foi desabilitada.....	63
Figura 11 - Exemplo de aplicação de argamassa de assentamento em tijolos de solo-cimento.....	79
Figura 12 – Planta baixa da edificação estudada, com detalhamento de cotas, portas e janelas.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teor de cimento sugerido para o ensaio de compactação do solo-cimento	42
Tabela 2 – Proporção de cimento recomendadas para classificações AASHTO	43
Tabela 3 – Resultados de absorção de água e resistência à compressão obtidos em Grande (2003).	48
Tabela 4 – Resultados de absorção de água e resistência à compressão obtidos em Lima (2020)	49
Tabela 5 – Resultados de resistência à compressão e absorção de água utilizando cimento CP V ARI.....	52
Tabela 6 – Resultados de ensaio de prismas em Grande (2003).....	53
Tabela 7 – Custo unitário dos serviços de estrutura, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.	59
Tabela 8 – Custo unitário dos serviços de paredes e painéis, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.	60
Tabela 9 – Custo unitário dos serviços de revestimentos, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.	61
Tabela 10 – Custo unitário dos serviços de estrutura, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.	64
Tabela 11 - Composição de custo de execução da cinta de amarração utilizada no método utilizando tijolos de solo-cimento.	64
Tabela 12 - Custo unitário dos serviços de paredes e painéis, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.	65
Tabela 13 - Composição do serviço de execução de alvenaria de vedação em bloco de solo-cimento obtido no catálogo SINAPI 09/2022.	66
Tabela 14 - Custo unitário dos serviços de revestimentos, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.	67
Tabela 15 - Custos estimados das etapas não impactadas pela variação de método construtivo.	71

Tabela 16 - Custos estimados dos serviços de estrutura no método construtivo utilizando blocos cerâmicos.....	72
Tabela 17 - Custos estimados dos serviços de estruturas do método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.....	72
Tabela 18 - Custos estimados dos serviços de paredes e painéis no método construtivo utilizando blocos cerâmicos.	73
Tabela 19 - Custos estimados dos serviços de paredes e painéis no método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.....	73
Tabela 20 - Custos estimados dos serviços de revestimentos no método construtivo utilizando blocos cerâmicos.....	74
Tabela 21 - Custos estimados dos serviços de revestimentos no método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.....	75
Tabela 22 – Itens mais impactantes da curva ABC de insumos para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.	76
Tabela 23 – Itens mais impactantes da curva ABC de insumos para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.....	76
Tabela 24 – Custo total de construção no método utilizando blocos cerâmicos.	77
Tabela 25 – Custo total de construção no método utilizando tijolos de solo-cimento	78
Tabela 26 - Apresentação dos resultados obtidos nos experimentos de argamassas de assentamento.....	79

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ARI - Alta Resistencia Inicial

BTC - Bloco de Terra Compactado

BTCE - Blocos De Terra Comprimidos E Estabilizado

C₂S - Silicato Bicálcico

C₃A - Aluminato Tricálcico

C₃S - Silicato Tricálcico

C₄AF - Ferroaluminato Tetracálcico

Ca(OH)₂ - Hidróxido De Cálcio

CBR - California Bearing Ratio (Índice De Suporte Califórnia)

C-S-H - Silicato De Cálcio Hidratado

GIDUR/VT - Gerência de Filial de Desenvolvimento Urbano e Rural

PVA - Poliacetato De Vinila

SCAA – Solo-Cimento Auto Adensável

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

HRB - Highway Research Board

LISTA DE SÍMBOLOS

f_{bk} - resistência à compressão característica de blocos

f_{ck} - resistência característica do concreto à compressão

f_{pa} - Resistência à compressão (MPa) de paredes

f_{bm} - Resistência à compressão de tijolos (m indica a idade dos tijolos, em dias)

f_{pm} - Resistência à compressão de prismas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS.....	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	16
1.2. JUSTIFICATIVA.....	16
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. ALVENARIAS	17
2.1.1. Modulação	20
2.1.2. Unidades de alvenaria	21
2.1.3. Ligações de Paredes	26
2.1.4. Argamassa de Assentamento.....	28
2.1.5. Graute	29
2.1.6. Sistemas Estruturais De Paredes De Alvenaria	30
2.2. O SOLO-CIMENTO.....	32
2.2.1. Definições e histórico.....	32
2.2.2. Critérios para escolha do solo.....	33
2.2.3. Qualidade do Solo-Cimento	36
2.2.4. Dosagem do Solo-Cimento	42
2.3. ALVENARIA COM TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO	43
2.3.1. Fabricação de Tijolos com Adições	47
2.3.2. Solo-Cimento Autoadensável	49
2.3.3. Estudos de Paredes e Pilares de Tijolos de Solo-Cimento.....	51
CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	56
3.1. ESTUDO COMPARATIVO.....	56
3.1.1. Método construtivo utilizando Blocos Cerâmicos.....	58
3.1.2. Método Construtivo Utilizando Tijolos De Solo-Cimento.....	62
3.2. MÉTODOS DE ASSENTAMENTO	68
3.3. APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS	69
3.4. IMPLEMENTAÇÃO DE FÁBRICA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO	69
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	71
4.1. ESTUDO COMPARATIVO.....	71

4.2. MÉTODOS DE ASSENTAMENTO	78
4.3. APLICAÇÃO DE REVESTIMENTOS	80
4.4. IMPLEMENTAÇÃO DE FÁBRICA DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO	81
CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS.....	87
REFERÊNCIAS.....	90
ANEXO A.....	97

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Com a expansão do número de pessoas em zonas urbanas, cresceu também a demanda de materiais para suprir a necessidade de moradias para esta crescente população, necessitando de grandes quantidades de matérias-primas para que estas moradias fossem construídas. Visando aprimorar as técnicas e os materiais utilizados no desenvolvimento de infraestruturas, o setor de construção civil passou a estudar diferentes arranjos de materiais e também métodos construtivos.

A construção civil é uma área promissora devido seu leque de atuações, sendo também um setor com uma grande necessidade de mão de obra, fazendo com que esta área seja uma das mais importantes para o desenvolvimento de um país, haja vista que ao mesmo tempo que traz desenvolvimento, também traz consigo oportunidades de crescimento para a população, gerando empregos e atividades sociais para os envolvidos diretamente e indiretamente numa obra.

Uma busca por novos materiais construtivos, observando os aspectos ambientais e os possíveis impactos causados por aquele método, forçaram a procura de materiais alternativos e de menor impacto ambiental, utilizando um material abundante da natureza como matéria-prima através de uma estabilização química, podendo ser utilizados também resíduos de diversas fontes de produções industriais.

Nesta busca, terminou-se reconsiderando o uso de velhos materiais conhecidos, como o solo, que durante milhares de anos foi utilizado para a construção de edificações. Comprovando a sua eficiência como material construtivo, temos a antiga cidadela de Arg-é Bam, cidade localizada no sudeste do Irã, que foi construída em 500 a.C. e foi a maior construção de adobe já construída, vindo a ruínas no ano de 2003 em decorrência de um grande terremoto que danificou cerca de 23% dos antigos monumentos nos arredores e dentro da cidadela. (Shad, 2014)

Segundo Perera (2009) há relatos de edificações construídas com solo há mais de 4000 anos, onde os conhecimentos adquiridos com o tempo foram repassados através das gerações, hoje havendo mais de 12 diferentes métodos construtivos utilizando-se o solo e os chamados blocos de terra comprimidos e estabilizados (BTCE). Hoje aplica-se o uso do BTCE em edificações, porém ainda há uma carência

de especificações e uso para este material. O maior atrativo para este tipo de construção é a utilização de materiais alternativos e comuns, barateando o custo construtivo e desenvolvendo tecnologias inovadoras para a construção.

Pisani (2005) afirma que não existem construções que não gerem impactos ambientais, porém, é necessária a busca pela diminuição dos impactos ocasionados. Por isso, é sugerida a escolha da terra crua, material abundante em todo o planeta, e que não demanda grandes custos para ser adequado para o uso, além de apresentar as características naturais de isolamento térmica e acústica. Apesar desta economia em energia, não se pode ignorar a grande quantidade de energia necessária para a produção do cimento.

Os blocos modulares de solo-cimento, também denominados de tijolos ecológicos, possuem uma técnica de construção diferenciada, com encaixes e furos que o atravessam, permitindo a criação de câmaras na parte interna da parede, e que pode ser usada para reforço estrutural de parede, para passagem de tubulações, ou apenas como reforço térmico e acústico. Além disso, possui um acabamento que pode ficar aparente, desde que impermeabilizado nas áreas úmidas e áreas externas. Em Souza (2006) vemos que o ganho ecológico transcende a redução da energia para produzir os tijolos, uma vez que é viável a incorporação de resíduos de concreto na mistura, obtendo-se resultados melhores que os tijolos ecológicos sem adições.

Diante do exposto, é de grande importância a difusão de tecnologias alternativas, principalmente as que tem um viés ecologicamente correto e com baixo custo, também objetivando que os que sofrem com o déficit habitacional tenham uma alternativa de melhoria social.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Estudar a tecnologia construtiva utilizando tijolos de solo-cimento e o seu uso na execução de paredes de alvenaria em residências populares.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Realizar um estudo comparativo entre o método construtivo convencional, utilizando blocos cerâmicos, e o método proposto, utilizando tijolos de solo-cimento, citando as vantagens e desvantagens observadas em cada caso;
- Avaliar os materiais e métodos sugeridos para o assentamento de tijolos de solo-cimento;
- Avaliar a aplicação de revestimentos em painéis de tijolo de solo-cimento, apontando pontos críticos dos métodos utilizados;
- Estudar os custos de implementação de uma fábrica de tijolos de solo-cimento, apontando produtividade e necessidade de mão de obra para fabricação em grande escala.

1.2. Justificativa

Esta pesquisa se mostra importante uma vez que as alvenarias de solo-cimento têm ganhado mais espaço na execução de paredes e painéis, já que há uma promessa de diminuição do tempo de execução e do custo quando comparados às alvenarias cerâmicas de vedação. Além destas razões, o sistema construtivo utilizando alvenarias de solo-cimento possui semelhança com as alvenarias estruturais, mesmo que não sejam utilizadas para estas finalidades. Por ser uma tecnologia com menor custo de execução, esta técnica construtiva é promissora para a redução do déficit de moradias no país, uma vez que estas alvenarias podem ser facilmente produzidas no local da obra, diminuindo os gastos com frete para entrega destes materiais. Os estudos demonstram que esta tecnologia é bastante promissora como uma opção de baixo custo para o uso em construções familiares, podendo ser produzida de forma semi-artesanal, com um processo construtivo prático e de fácil manejo, barateando também o custo de mão de obra.

CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se a base bibliográfica para embasamento deste trabalho, incluindo estudos realizados nesta linha de pesquisa.

2.1. Alvenarias

O termo alvenaria tem entre os seus significados “Conjunto de pedras, tijolos, blocos ou outros materiais, ligados ou não com argamassa, que formam paredes, muros, alicerces etc. (Alvenaria, 2023). De acordo com Mohamad (2020), antigas construções como o Coliseu Romano, as pirâmides do Egito e a catedral de Notre-dame, na França, foram executadas com materiais considerados alvenarias.

Segundo Mohamad (2020), a presença de unidades de pedra ou cerâmica limitavam a concepção estrutural da construção em relação aos vãos, obrigando os construtores desta época a executarem arcos acima destes vãos para que não houvessem tensões de tração que levassem o material à ruptura. Em complemento, Ramalho e Corrêa (2003) nos traz que, quando necessário, eram construídos até mesmo arcos de contraventamento para apoiar estes arcos, evitando tensões de tração com valores elevados, e permitindo a criação de vãos e pés-direitos ainda maiores.

Parkesian, Hamid e Drysdale (2013) afirma que muitos edifícios de alvenaria eram projetados usando o peso de pavimentos e espessas paredes para evitar esforços de tração devido ações laterais e excentricidades de carregamento, garantindo a estabilidade da edificação apenas pela ação da gravidade. Porém, apesar de tecnicamente viável, haviam limitações devido à grande quantidade de materiais utilizados, motivando projetistas a buscar soluções técnicas para a diminuição da espessura de paredes e diminuição de custos. De acordo com Pereira (2005), a tecnologia de construção utilizando alvenaria foi desenvolvida de forma empírica, e a concepção estrutural era realizada de forma intuitiva. Por estes motivos, não havia uma padronização das dimensões de paredes nas construções antigas, podendo variar de 0,3m a 1,3m de largura.

Ramalho e Corrêa (2003) fala que há várias construções milenares que, mesmo sem grande importância histórica, possuem grande importância dentro do sistema

construtivo utilizando alvenarias. Entre estas construções, está o Farol de Alexandria, construído em mármore branco, com 134m de altura, que foi destruído por um terremoto depois de aproximadamente 14 séculos de sua construção. Também é possível citar a Catedral de Reims, construída entre 1211 e 1300 da era comum, e que demonstra uma aprimorada técnica para construção de grandes vãos utilizando estruturas que funcionem apenas à compressão.

De acordo com Parkesian, Hamid e Drysdale (2013), muitos materiais foram utilizados para construir em alvenaria, geralmente materiais encontrados em grandes quantidades nos arredores das construções. Em civilizações próximas aos rios, a exemplo da mesopotâmia, que geograficamente ficava em um local com pouca disponibilidade de madeira e rocha, os depósitos aluviais eram utilizados para produção de tijolos, utilizando alvenarias de solo seco ao sol. Nas civilizações próximas a montanhas rochosas, as alvenarias eram compostas principalmente por rochas, enquanto em regiões árticas, utilizavam-se alvenarias de blocos de gelo para a construção de iglus.

Thomaz *et al.* (2009) nos traz que, devido à evolução sofrida pelos métodos construtivos até atualmente, os ensinamentos empíricos acerca de alvenarias atualmente tem pouco valor relativo, uma vez que as estruturas foram flexibilizadas, atingindo dezenas de metros, e novas técnicas construtivas ganharam espaço, fazendo com que as alvenarias, em grande parte dessas técnicas construtivas, passasse a desempenhar apenas papel de isolamento termoacústico, resistência ao fogo, entre outros, sendo utilizada como alvenaria de vedação.

Entretanto, apesar destas novas tecnologias construtivas, ainda existem técnicas construtivas utilizando alvenarias com função estrutural. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), as unidades de alvenaria podem ser classificadas por sua forma e sua finalidade. Em relação às formas, podem ser maciças ou vazadas, onde são consideradas maciças as unidades de alvenaria com até 25% da área total vazia, e vazadas aquelas que superarem este valor. Em relação à finalidade, as unidades de alvenaria podem ser de vedação ou estrutural. De acordo com a NBR 15270-1 (2017), os componentes cerâmicos de vedação devem possuir uma resistência à compressão individual (f_b) mínima de 1,5 MPa, enquanto os componentes cerâmicos estruturais deverão possuir resistência à compressão característica (f_{bk}) mínima de 4 MPa. Já

os blocos vazados de concreto, segundo a NBR 6136 (2016), devem ter resistência à compressão característica (f_{bk}) maior ou igual à 3 MPa para funções não estruturais, e maior ou igual à 4 MPa para funções estruturais.

Atualmente, com o aprimoramento das tecnologias construtivas, é possível separar o sistema construtivo utilizando alvenaria estrutural entre armada e não armada. Segundo Camacho (2006), a alvenaria estrutural não armada é o processo construtivo onde existem armaduras somente com finalidade construtiva, de modo a prevenir que ocorram patologias. Já a alvenaria estrutural armada é aquela onde há necessidade de elementos resistentes, com armadura passiva em aço dispostas nas cavidades dos blocos e preenchidas com graute.

De acordo com Parsekian e Soares (2010), o uso de alvenarias estruturais é indicado quando não há previsão de alteração da arquitetura, uma vez que neste método construtivo a maioria das paredes desempenham funções estruturais, e quando os vãos não excedam os 5 metros. Além disso, o uso da alvenaria estrutural é considerado a técnica mais econômica para construções de até 12 pavimentos, uma vez que as construções mais altas recebem maiores carregamentos horizontais, podendo ser necessário o uso de protensão ou alvenaria armada, que fazem com que o ganho econômico deste método construtivo seja menor quando comparado a outros métodos de construção. A alvenaria não armada tem como comportamento básico uma boa resistência à compressão, porém baixa resistência à tração, enquanto a alvenaria armada ou a alvenaria protendida possuem um bom comportamento para ambos os casos.

Porém, há casos onde a aplicação da alvenaria estrutural não consegue suprir todas as necessidades do projeto, necessitando da mesclagem de técnicas construtivas. Segundo Coêlho (1998), existem casos típicos onde o projeto arquitetônico prevê a existência de garagens no subsolo ou térreo, onde a alvenaria estrutural terá ação participativa apenas a partir do primeiro piso, ou então casos onde haja a necessidade de grandes balanços na fachada, caixas de escadas, entre outros, devendo ser analisado de forma isolada pelo projetista para a definição da melhor técnica a ser aplicada na situação.

2.1.1. Modulação

A modulação de uma edificação em alvenaria estrutural é muito importante, uma vez que estes blocos não devem ser cortados para utilização na execução da alvenaria. Segundo Ramalho e Corrêa (2003), sem uma modulação nas dimensões de uma edificação, os enchimentos resultantes certamente levarão a um custo maior e uma racionalidade menor para a obra, o que não impede que sejam realizados ajustes, mas que estes deverão ocorrer em pouquíssimos pontos, e sob condições muito particulares.

Segundo Camacho (2006), a modulação, ou coordenação modular, consiste no ajuste de todas as dimensões da obra no sentido vertical e horizontal como múltiplos da dimensão básica da unidade de alvenaria principal utilizada naquela obra. É nesta fase que são previstos todos os encontros de paredes, aberturas, pontos de graute e ferragem, ligações entre parede e laje, caixas de passagem, entre outros elementos da construção.

Na NBR 15873 (2010), coordenação modular é definida como a coordenação dimensional mediante o emprego do módulo básico, ou de um multimódulo. O módulo básico é a unidade de medida fundamental na coordenação modular, representado pela letra M, e que tem por norma o valor de 100mm, podendo apresentar-se de formas multimodulares (2M, 3M) ou submodulares (M/2, M/3).

Conforme explica Tauil e Nesse (2010), projetar de forma modular possibilita uma perfeita organização dos espaços e a compatibilização dos elementos construtivos com a flexibilidade necessária ao atendimento do escopo.

Em Camacho (2006) vemos que as dimensões dos blocos também evoluíram conforme foram evoluindo as tecnologias dos materiais utilizados, salientando que o ideal é que se tenham unidades que apresentem o comprimento como sendo o dobro da sua largura, o que faz com que a quantidade de blocos especiais utilizados durante a obra seja reduzida.

Ramalho e Corrêa (2003) nos mostra que, apesar de considerarem a arquitetura como ponto principal para a modulação horizontal, fazendo com que ocorram menores alterações na arquitetura concebida, o principal parâmetro a ser

considerado para a distância modular horizontal é a largura do bloco a ser adotado, isso porque o ideal é que o módulo longitudinal do bloco utilizado seja igual à largura a ser adotada, evitando problemas comuns em ligações cantos e bordas de paredes.

Enquanto para a modulação horizontal há maiores dificuldades devido os blocos especiais possuírem alterações em relação à sua largura e comprimento, para a modulação horizontal não há grande complexidade, uma vez que a altura dos blocos das mesmas famílias é constante, necessitando apenas que a distância do piso ao teto seja múltipla do módulo vertical.

Para edifícios de múltiplos pavimentos, Tauil e Nesse (2010) mostra a importância da modulação de um pavimento tipo, sendo a primeira modulação a ser realizada, onde serão definidas as paredes estruturais, os shafts, aberturas verticais para caixilhos e portas, qual o módulo a ser utilizado e qual componente de alvenaria será mais racionalizado para este projeto.

2.1.2. Unidades de alvenaria

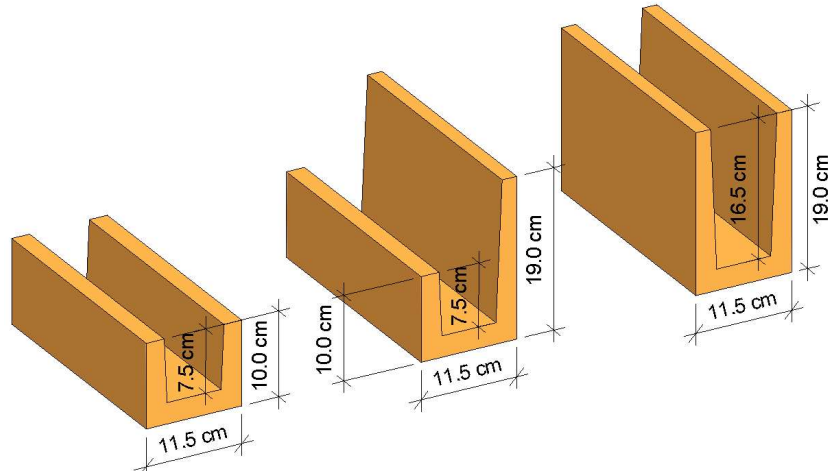
De acordo com Parkesian, Hamid e Drysdale (2013), as unidades de alvenaria mais utilizadas atualmente são as de cerâmica e as de concreto. Além destes dois materiais, há também alvenarias feitas com materiais sílico-calcários, constituídos basicamente de areia e cal, porém estes têm menor disponibilidade de produção, havendo apenas um fabricante tradicional, no estado de São Paulo, que produz alvenarias neste material desde 1976. Portanto, neste capítulo serão abordados apenas as unidades de alvenaria fabricados em cerâmica e concreto, uma vez que são os mais utilizados na área da construção civil com função estrutural.

2.1.2.1. Alvenarias Cerâmicas

De acordo com a NBR 15270-1 (2017), que indica os requisitos para tijolos e blocos cerâmicos de alvenaria, são considerados blocos os componentes cuja altura seja superior à 11,5 cm. Os blocos podem ser tratados por famílias, que são os conjuntos de componentes de mesma largura necessários para a construção das alvenarias e suas amarrações, onde é considerado o bloco principal aquele com maior uso na obra, enquanto os demais pertencentes à mesma família possuem comprimentos múltiplos do módulo dimensional adotado. Os principais elementos das

famílias dos blocos cerâmicos são os blocos de paredes vazadas, blocos de paredes maciças, blocos canaleta J e canaleta U, demonstrados nas figuras 1 e 2.

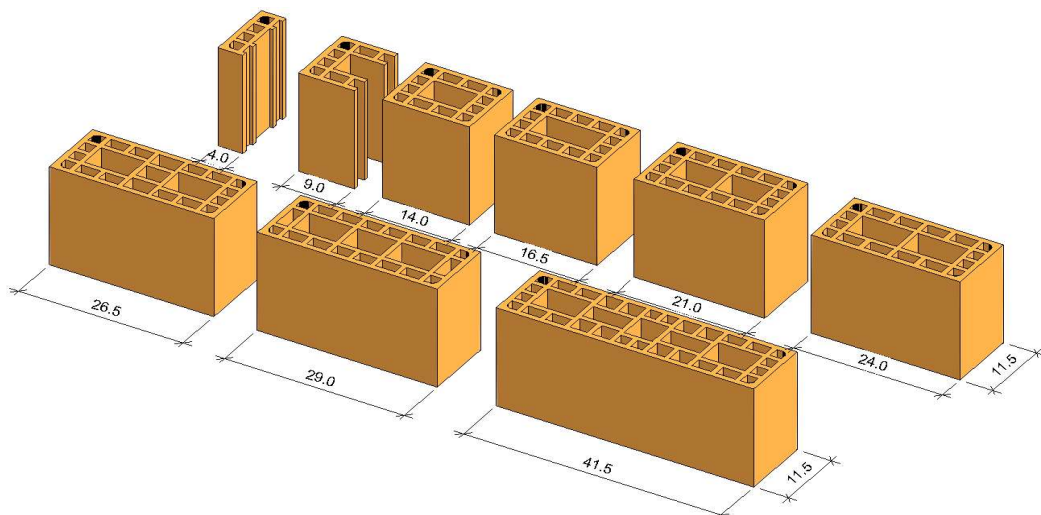
Figura 1 – Tijolos meia canaleta, canaleta J e canaleta U da marca Pauluzzi



Fonte: Biblioteca BIM Pauluzzi (2023)

Para um melhor desempenho na obra, blocos específicos são incluídos no pedido à fábrica, a fim de tornar a modulação e a execução mais práticas. Geralmente, as famílias são denominadas pelo comprimento do bloco chamado de principal daquela família. Na figura 2, são exibidos os blocos da família de 29 cm da empresa Pauluzzi Blocos Cerâmicos, com as medidas apresentadas em centímetros.

Figura 2 – Família de blocos estruturais da marca Pauluzzi

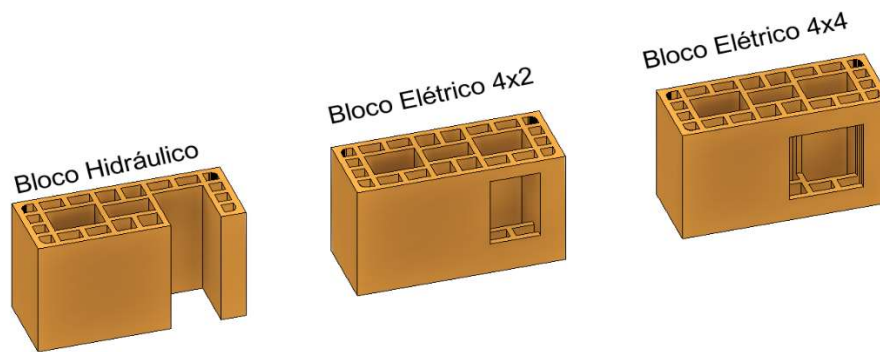


Fonte: Biblioteca BIM Pauluzzi (2023)

Os blocos com menores dimensões são chamados de blocos compensadores, servindo para preencher alguns pontos de menores dimensões na modulação da

alvenaria. Além destes blocos tradicionais, alguns fornecedores possuem blocos específicos para a passagem das instalações elétricas e hidrossanitárias, popularmente chamados de bloco elétrico e bloco hidráulico, respectivamente, conforme mostra a figura 3.

Figura 3 – Blocos especiais da marca Paluluzzi



Fonte: Biblioteca BIM Paluluzzi (2023)

Segundo Bauer (2008) e Parsekian e Soares (2010), a preparação da matéria-prima para a produção de cerâmicas envolve várias etapas, que são fundamentais para que o produto final esteja de acordo com os parâmetros de qualidade estabelecido. Estas etapas dividem-se da seguinte maneira:

- Extração do barro na jazida, e transporte do material até a fábrica. De acordo com Parsekian e Soares (2010), o solo recebido da jazida passa por análises de laboratório, onde o material é analisado a fim de que se garanta a qualidade dos blocos produzidos;
- Preparo da matéria-prima, que segundo Gaidzinski *et al.* (2005), passa por um processo de sazonalamento, ou apodrecimento, onde este material é exposto às intempéries do ar livre, sendo misturada periodicamente, a fim de que haja a fermentação da matéria orgânica presente nele. Este processo pode durar meses, variando de acordo com o solo;
- Na britagem, ou moagem, o material é britado e misturado nas proporções estabelecidas em laboratório. Após a mistura, o material é moído em um moinho da alta produção e peneirado para a obtenção da granulometria adequada;

- Após a obtenção da granulometria adequada, o material é homogeneizado e umedecido, onde é armazenada por 72h para que haja um alívio das tensões internas da mistura;
- Então, o material é transportado para a linha de extrusão, podendo haver uma correção da umidade da mistura. A mistura então passa por uma câmara de vácuo, que tem por finalidade a remoção das partículas de ar presentes no material;
- Após a câmara de vácuo, o material passa por extrusão, onde adquire o formato para uso final, recebendo identificação de lote de produção. Em seguida, a extrusão é cortada nas dimensões desejadas para uso, sendo prevista a retração do material após a secagem e a queima;
- Os blocos extrudidos e cortados são enviados para a área de secagem. A secagem é tão importante quanto o cozimento, uma vez que caso a argila vá para o forno muito úmida, parte desta umidade ficará retida no interior da peça, gerando tensões internas e ocasionando fissuras. Esta etapa tem uma duração que varia de acordo com o método de secagem, podendo durar algumas horas, quando seco em estufa, ou até semanas, quando seco ao ar livre;
- A queima é considerada a etapa mais importante da fabricação da cerâmica, pois é nela que a argila adquire propriedades cerâmicas e, conseqüentemente, adquire propriedades termoacústicas, resistência mecânica e impermeabilidade. Esta etapa ocorre em duas fases, onde, na primeira, os blocos são submetidos primeiramente a temperaturas de aproximadamente 70° C, visando eliminar uma possível reabsorção da umidade ambiente após a secagem, e na segunda etapa, os blocos são pré-aquecidos a 600° C e depois queimados a 900° C;
- Após a queima, os blocos seguem para a área de resfriamento, onde são resfriados de forma gradativa até que estejam em uma temperatura que seja possível de manuseá-lo;
- Depois de queimada e resfriada, a cerâmica segue para a paletização, onde serão retiradas amostras para serem ensaiadas, e caso esteja em conformidade, os blocos são armazenados e enviados para o local onde serão utilizados.

A NBR 15270-1 (2017) especifica requisitos específicos para aceitação dos blocos cerâmicos. São avaliadas as medidas das faces (largura, altura e comprimento), espessura dos septos e paredes externas, desvio em relação ao esquadro, planeza das faces, resistência à compressão, índice de absorção d'água e resistência característica à compressão.

Segundo Fernandes, Almeida e Andrade Filho (2016), o uso da alvenaria estrutural cerâmica traz vantagens na redução do uso do concreto, redução de mão de obra, possuem blocos mais leves do que os de concreto, o que facilita o serviço de mão de obra e torna a estrutura mais leve, melhor capacidade termoacústica e menor absorção de água.

Em Ottoni *et al.* (2018), ensaios mostraram que o uso do chapisco é indispensável antes do emassamento dos blocos, constatando que, no seu estudo, em praticamente sua totalidade, a ruptura por tração acontece na interface argamassa/substratos nos casos onde não foi utilizado o chapisco.

2.1.2.2. Blocos de Concreto

A NBR 6136 (2016) traz como elementos da família dos blocos de concreto o bloco inteiro, meio bloco, bloco 2/3, bloco 1/3, bloco de amarração em L, bloco de amarração em T, blocos compensadores, bloco canaleta inteira e meia canaleta. Os blocos de amarração L e amarração T são blocos da família que possuem comprimentos de tal forma que se possa realizar uma amarração direta em regiões de encontro de parede.

Segundo Salvador Filho (2007), o processo de fabricação dos blocos de concreto envolve a moldagem do concreto de consistência rija, compactado e vibrado por máquinas automáticas, posteriormente sendo levado para cura e armazenagem até o momento da entrega. Este processo ocorre nas seguintes etapas:

- O material utilizado é recebido para a confecção dos blocos. É nesta etapa que ocorrem as análises e caracterizações de cada material;
- Após isso, é realizada a pesagem e mistura do material, onde a matéria-prima é quantificada e misturada, com dosagens que variam de acordo com a finalidade dos blocos que serão fabricados;

- O material então é levado para a vibro-prensagem, onde será compactado e vibrado, simultaneamente, para que ocorra uma melhor compactação do material;
- Após a moldagem do bloco, o material segue para uma área de cura, onde ocorrerá a hidratação do concreto, e o ganho de resistência mecânica por parte do material. Por tratar-se de cimento Portland, esta cura deverá ocorrer em um ambiente livre do sol direto e de ventos, devendo ocorrer em ambientes onde o ar seja saturado.

A NBR 6136 (2016) especifica como critério para aceitação dos materiais a análise dimensional, aferindo altura, largura, comprimento, espessura de parede e dimensão do furo, a resistência característica, e a absorção de água do material.

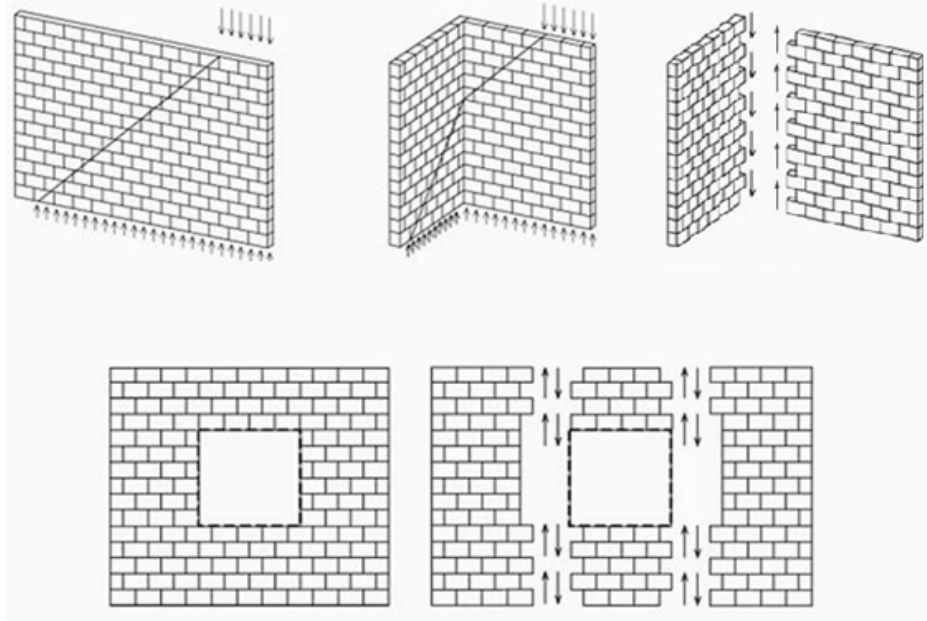
Fernandes, Almeida e Andrade Filho (2016) nos traz que, o uso de blocos de concreto, quando comparados aos blocos cerâmicos, trazem como vantagem uma diminuição da utilização dos revestimentos, diminuição das perdas e uma maior resistência à carga, porém, têm como desvantagem o seu peso, que traz consigo dificuldades de manuseio e também um aumento no custo da estrutura devido ao peso da alvenaria.

2.1.3. Ligações de Paredes

Num painel de alvenaria, quando colocada um carregamento ou uma área, esta força irar percorrer todo o painel seguindo a partir do plano de atuação desta força com uma angulação conhecida. Segundo a NBR 16868-1 (2020) a dispersão desta força ocorre por uma inclinação de 45° em relação ao plano horizontal.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), este comportamento pode ser encontrado tanto nos trechos planos das paredes quanto nos cantos e bordas, especialmente quando esta parede foi executada com amarração direta. Quando há a presença de aberturas, esta abertura caracteriza-se como uma interrupção do elemento, considerando-se como uma sequência de paredes independentes. A figura 4 demonstra o espalhamento do carregamento citado acima.

Figura 4 – Espalhamento do carregamento em painéis de alvenaria

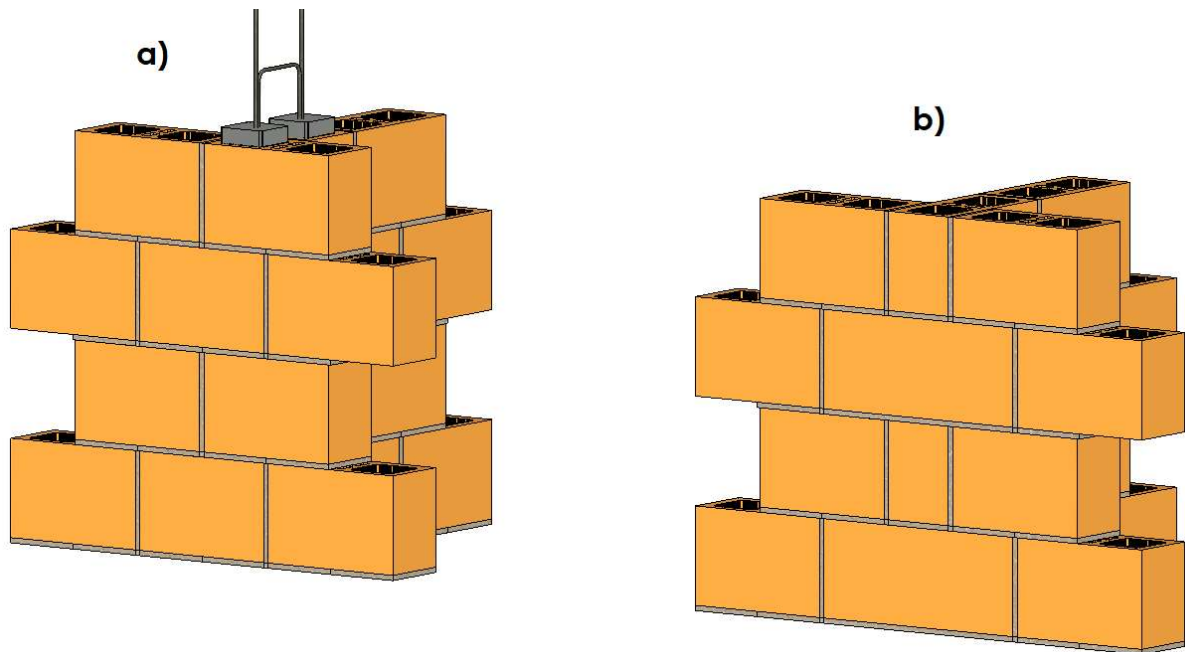


Fonte: Ramalho e Correa (2003)

Ainda segundo Ramalho e Corrêa (2003), é necessário a existência de cintas sob a laje do pavimento e à meia altura da parede, uma vez que estas cintas ajudarão na uniformização das cargas transmitidas através da alvenaria. Para vergas e contravergas, quanto maior a penetração nas paredes a qual se ligam, melhores serão as condições de desenvolvimento de forças de interação.

Conforme nos traz Parsekian e Soares (2010), as paredes poderão ser amarradas de forma direta ou indireta, onde, na forma direta, o próprio intertravamento das alvenarias é quem irá realizar o travamento destas. Para estas situações podem ser utilizados blocos de maiores dimensões, denominados “blocos especiais”, a fim de que se haja uma amarração direta mesmo em encontros em T. Não havendo esta possibilidade, segue-se para a amarração indireta, onde são utilizados grampos grauteados, exemplificado na figura 5, ou telas de aço assentadas juntamente à alvenaria. A amarração indireta tem a desvantagem de não unir totalmente as paredes, trazendo prejuízos ao comportamento estrutural, uma vez que há uma redução da rigidez nos carregamentos laterais, devendo ser evitada especialmente em edifícios com mais de 4 pavimentos.

Figura 5 – Exemplo de amarração em “T” indireta (a) e direta (b) em paredes de alvenaria estrutural.



Fonte: Adaptado de Biblioteca BIM Paluzzi (2023)

Segundo a NBR 16868-1 (2020), a amarração direta é o padrão de ligação de paredes por intertravamento de blocos ou tijolos, que é de 9cm a $\frac{1}{4}$ do comprimento do bloco. Já a amarração indireta é o padrão de ligação de paredes com junta vertical a prumo, onde o plano da interface é atravessado por armaduras, que geralmente são grampos metálicos ancorados nos grautes, ou amarrados por telas metálicas ancoradas nas juntas de assentamento.

2.1.4. Argamassa de Assentamento

A argamassa de assentamento é o elemento utilizado na ligação entre os blocos. Segundo Camacho (2006), estas devem unir as unidades de alvenaria, garantir a vedação, propiciar aderência com as armaduras nas juntas e compensar as variações dimensionais das unidades de alvenaria.

Para evitar riscos de fissura, a NBR 16868-1 (2020) recomenda que a resistência à compressão da argamassa de assentamento deverá ser limitada a uma vez e meia a resistência característica do bloco utilizado, porém, Ramalho e Corrêa (2003) afirmam que a resistência à compressão da argamassa não é tão significativa para a resistência à compressão das paredes, uma vez que o graute é quem deverá exercer essa função de forma significativa.

De acordo com Camacho (2006), a argamassa deverá ter a capacidade de retenção de água suficiente para que, quando em contato com as unidades de alvenaria com elevada absorção inicial de água, não tenha suas funções principais prejudicadas devido a perda, além de ter a capacidade de desenvolver resistência suficiente para absorver os esforços atuantes na parede.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), a espessura da junta não deve ser muito pequena, uma vez q isso poderia permitir que, por eventuais falhas na execução, pontos da superfície do bloco possam se encostar, provocando uma concentração de tensões e causando prejuízos à resistência desta parede. Porém, essa espessura também não deverá ser muito grande, pois já foi comprovado que a resistência da parede decresce com o aumento da junta horizontal, podendo reduzir em 15% a cada 0,3 cm de aumento de espessura, sendo atribuído como padrão a espessura de 1cm.

2.1.5. Graute

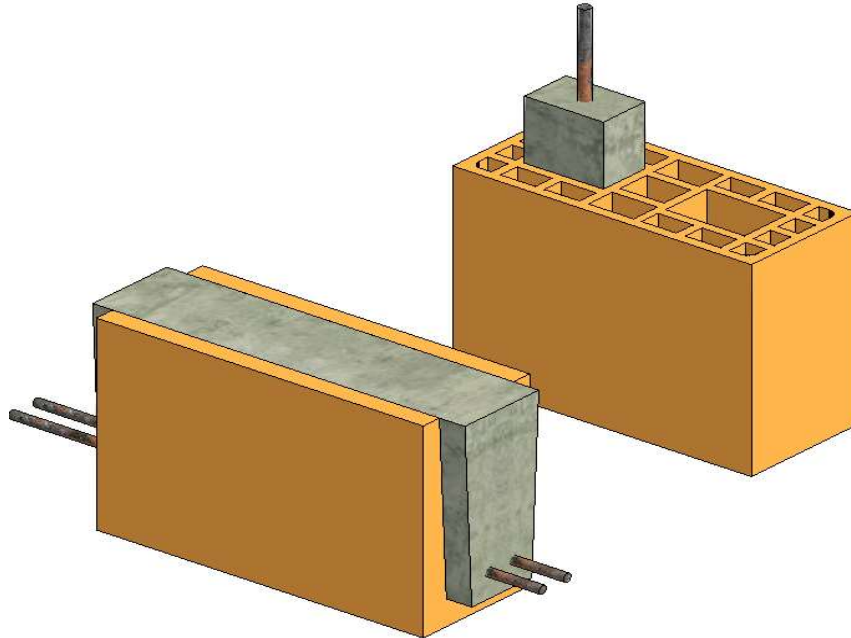
Conforme Ramalho e Corrêa (2003), o graute é um concreto com agregados de pequenas dimensões, e relativamente fluido, utilizado para preencher os vazios dos blocos, propiciando um aumento da área da seção transversal das unidades de alvenaria, ou promover a solidarização dos blocos com eventuais armaduras posicionadas em seus vazios.

Parkesian e Soares (2010) recomenda que a resistência dos grautes não seja inferior a 15 MPa, tomado este como valor mínimo obrigatório em pontos com armadura, para garantir que esta tenha boa aderência ao graute. Camacho (2006) acrescenta que o agregado miúdo e graúdo deverá ter dimensões de até 9,5 mm, especificando que a função principal deste componente é o aumento da resistência da parede, e a aderência entre as unidades cerâmicas e as armaduras.

Conforme Ramalho e Corrêa (2003) nos trazem, deve-se considerar que o bloco, o graute e a armadura trabalhem de forma monolítica, semelhante ao comportamento do concreto armado. Por isso, o graute deverá envolver completamente as armaduras e ter uma boa aderência tanto a essa quanto à superfície interna do bloco, formando um conjunto único. O grauteamento pode ser dividido entre grauteamento horizontal e grauteamento vertical. No grauteamento vertical, são grauteados os furos dos blocos, com ou sem a ferragem. O grauteamento

horizontal refere-se ao preenchimento das canaletas, aplicadas nas cintas e vergas das paredes, necessitando de ferragens conforme as cargas distribuídas. A figura 6 exemplifica a disposição de grautes utilizados em alvenarias estruturais.

Figura 6 – Exemplo de grautes verticais e horizontais em alvenarias estruturais



Fonte: Adaptado de Biblioteca BIM Paluluzzi (2023)

De acordo com a NBR 16868-1 (2020), as armaduras utilizadas nos grautes devem ter um cobrimento mínimo de 15mm, com uma área máxima de 15% da área compreendida entre a largura e a altura útil da seção para elementos fletidos, a exemplo de vigas, e 10% para as armaduras longitudinais principais localizadas nas paredes de alvenaria. Em pilares de alvenaria armada, a área da armadura longitudinal não pode ser menor que 0,3 % da área da seção transversal. Para a armadura máxima, as barras não devem ter diâmetro superior à 6,3mm quando dispostas ao longo de cordões de argamassa, e 25mm em qualquer outro caso.

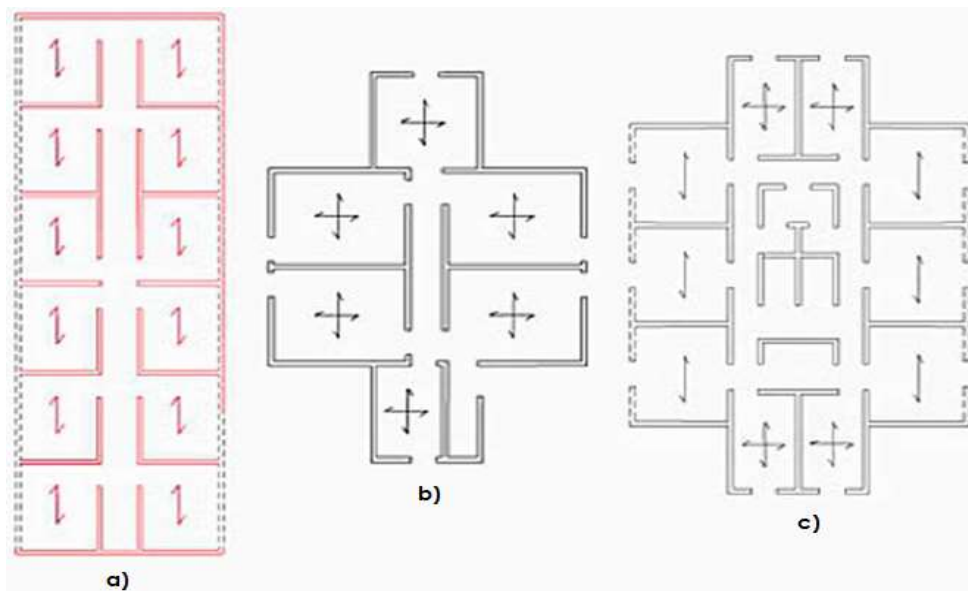
2.1.6. Sistemas Estruturais De Paredes De Alvenaria

A concepção da estrutura consiste em estudar e definir quais paredes necessitarão ser utilizadas como estruturais e quais não realizarão esta função. De acordo com Ramalho e Corrêa (2003), alguns fatores, como a utilização da edificação e a simetria, podem condicionar esta escolha. Com objetivos didáticos, os sistemas estruturais podem ser nomeados de acordo com a disposição das paredes estruturais,

e pode ser dividido entre paredes transversais, paredes celulares e sistema complexo, exemplificados na figura 7:

- No sistema com paredes transversais, as paredes externas, na direção de maior comprimento, não são estruturais, e as lajes são armadas em uma única direção, apoiando-se às paredes estruturais. Este sistema estrutural é utilizável em edifícios de planta regular e alongada.
- No sistema com paredes celulares, considerado adequado para plantas mais gerais, todas as paredes são estruturais, e as lajes podem ser amarradas em duas direções. É aconselhável utilizar este sistema sempre q possível, uma vez q este confere maior rigidez ao conjunto.
- No sistema complexo, o sistema de paredes transversais e o sistema com paredes celulares se misturam, onde cada um será utilizado em um ponto diferente da edificação. Este método é interessante para ser aplicado em edificações onde há a necessidade de painéis externos não estruturais, sendo possível manter na região interna toda a função estrutural do edifício.

Figura 7 – Sistema com paredes: a) transversais, b) celulares, c) complexo



Fonte: Ramalho e Corrêa (2003)

Para a definição do sistema estrutural, é necessária a definição da finalidade da edificação, uma vez que prédios industriais deverão suportar bastante cargas provenientes dos seus maquinários do que prédios residenciais. Para os prédios

residenciais, as principais cargas verticais a serem consideradas são as ações das lajes e o peso próprio das paredes.

De acordo com Parkesian, Hamid e Drysdale (2013), no século XIX edifícios baixos e altos eram construídos com o conceito de utilizar o peso próprio de paredes para contrabalancear os esforços de tração resultantes das ações laterais. Entretanto, nos edifícios mais altos, as paredes do térreo chegavam a possuir 1,8 metro de espessura, que terminava ocupando muito espaço e impondo grandes carregamentos às fundações.

Já Parkesian e Soares (2010) nos traz que, para garantir a estabilidade lateral do edifício, deve-se distribuir paredes estruturais nas duas direções principais do prédio, uma vez que estas servirão como contraventamento e apoio. Ramalho e Corrêa (2003) diz que as paredes internas da edificação tendem a receber maiores carregamentos do que as externas, logo, a parede mais carregada acaba definindo a resistência dos blocos a serem utilizados em todo o pavimento. A utilização do graute, apesar de melhorar a resistência da parede, não deverá ser utilizada de forma extensiva, uma vez que a sua execução onera o custo final da obra, além de ser relativamente difícil de se executar.

Quando estas paredes chegam até o solo, segundo Parkesian e Soares (2010), os carregamentos são distribuídos entre as paredes estruturais, que geralmente são extensas, transmitem baixas tensões para o solo, podendo utilizar sapatas corridas quando este solo for de boa qualidade, ou vigas baldrame apoiadas em estacas de pequena capacidade para situações em que o solo não ofereça um bom suporte aos carregamentos.

2.2. O solo-cimento

2.2.1. Definições e histórico

O solo-cimento, conforme define a NBR 12025 (2012), é o produto endurecido, resultante da compactação e cura de uma mistura de água, cimento e solo em proporções estabelecidas através de dosagem.

Por ser um material em abundância na natureza, o solo sempre foi utilizado com a finalidade de construção de abrigos seguros, seja por insetos, aves ou

mamíferos. Desde os princípios da humanidade, segundo Neves e Faria (2011), as técnicas de construção com terra estão presentes quase todas as civilizações do passado, expandindo-se através das colonizações e invasões, onde estas técnicas nativas e estrangeiras foram misturadas e aprimoradas. Entre estas técnicas de construção mais primitivas utilizando solo, estão a alvenaria de adobe, composta da mistura de terra e água, e a taipa de pilão, que se trata da compactação de painéis monolíticos utilizando fôrmas. Outra técnica utilizada até os dias atuais, principalmente em regiões mais pobres ou afastadas de grandes centros urbanos, é a taipa de sapapo, também denominada de “pau a pique”, que combina a terra com madeiras, palhas, fibras, aglomerantes, entre outros.

A partir do uso de aglomerantes junto do solo, percebeu-se que este uso colaborava com a estabilização da mistura, tornando-se mais resistente. De acordo com Grande (2003), a estabilização de solos promove a redução do volume de vazios e melhoria de aderência entre os grãos, tornando este solo mais denso, e influenciando positivamente na resistência mecânica.

Neves e Faria (2011) diz que, apenas a partir do século XIX o uso habitual da terra foi perdendo espaço conforme foram utilizando em larga escala os materiais de construção industrializados, entre eles, o cimento. Por tratar-se de um aglomerante, o cimento passou a ser usado também para melhoramento das tecnologias construtivas utilizando terra. A partir desses estudos, as técnicas antigas foram aprimoradas conforme tornou-se disponível este novo aglomerante. Entre as tecnologias aprimoradas está a do adobe, que quando misturado ao cimento e compactado é denominado bloco de terra compactado (BTC), ou, em outros casos, de tijolos de solo-cimento.

2.2.2. Critérios para escolha do solo

Apesar de haver uma grande disponibilidade de solos, são necessários cuidados em relação ao solo escolhido para uso como solo-cimento. Segundo Grande (2003), o emprego do solo como material de construção deve ser realizado com critério, uma vez que as propriedades destes materiais são muito complexas e heterogêneas.

De acordo com Pinto (2006), apenas parte do volume total do solo é ocupado pelas partículas sólidas, e o restante deste volume é chamado de vazios, embora contenha ar e água. Quando comprimido, o solo tende a reduzir seu volume de vazios, expulsando parte da água e do ar presentes e aumentando a sua densidade.

A forma das partículas do solo tem grande influência sobre suas propriedades, podendo ser arredondadas, que é o caso de areias, siltes e pedregulhos, lamelares, que é tradicionalmente encontrado nas argilas, ou fibrilares, forma característica dos solos turfosos. Os solos podem ser classificados de acordo com o tamanho dos grãos que o compõe, e esta classificação pode ser feita usando a curva granulométrica, que obtém seus valores através do peneiramento com malhas de diferentes aberturas, porém, para os solos mais finos, com dimensões menores que 0,074mm, é necessário utilizar o método de sedimentação contínua em meio líquido, tendo o método de Casagrande como o mais simples de ser realizado. (Caputo, 1988)

Por tratar-se de um grande volume de solos, o uso do solo para pavimentação não requer um grande controle de qualidade, o que não significa que este não exista. De acordo com a Norma DNIT 143/2010 – ES, os solos empregados na execução de base de solo-cimento devem ter as seguintes características:

- Que 100% do material passe na peneira 2½”;
- Que 50% a 100% do material passe na peneira n.º4 (4,76mm), com tolerância de ± 5%;
- Que 15% a 100% do material passe na peneira n.º40 (0,42mm), com tolerância de ± 2%;
- Que 5% a 35% do material passe na peneira n.º 200 (0,074mm), com tolerância de ± 2%;
- Que possuam Limite de Liquidez máximo de 40% e índice de Plasticidade igual ou inferior a 18%.

Já para a NBR 10833 (2012), que trata da fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica, os requisitos do solo da são especificados da seguinte maneira:

- 100% de material que passa na peneira com abertura de 4,7mm

- 10% a 50% de material que passa na peneira 0,075 mm;
- Limite de liquidez menor ou igual a 45% e Índice de plasticidade menor ou igual a 18%.

A NBR 12023 (2012), que trata dos ensaios de compactação em amostras de solo-cimento, especifica dois métodos de análise do material baseado em sua granulometria. Utilizando um cilindro de Próctor, o método A indicado aplica-se para solos com 100% de partículas com diâmetro menor que 4,75mm, e o método B, para solos com até 30% partículas com diâmetro maior que 19mm.

De acordo com Caputo (1988), em solos com uma certa porcentagem de finos, apenas a granulometria não basta para que estes sejam caracterizados, uma vez que as propriedades plásticas dependem da umidade, da forma das partículas e da sua composição química e mineralógica. A plasticidade pode ser definida como a propriedade dos solos de serem moldados sob certas condições de umidade, sem que haja variação no seu volume, sendo uma das mais importantes propriedades das argilas.

Os limites de consistência, também chamados de limites de Atterberg, baseiam-se na constatação do comportamento de um solo argiloso conforme a sua umidade, onde, quando há muita umidade, tende a se comportar como líquido, quando em umidade intermediária, possui um comportamento plástico, e quando possuem pouca umidade, tornam-se quebradiços. Os teores de umidade no qual o solo muda de estado líquido para plástico é denominado limite de liquidez, e quando passa de plástico para quebradiço denomina-se limite de plasticidade. A diferença entre estes dois limites, denominado índice de plasticidade, indica a faixa de valores em que o solo se apresenta com características plásticas. (Pinto, 2006)

Conforme especificam as normas acima citadas, os solos utilizados com a finalidade de uso no solo-cimento não devem possuir grãos muito grandes, tampouco grãos muito pequenos. Os solos com granulometrias maiores possuem grandes quantidades de vazios entre eles, não sendo favoráveis para a compactação, enquanto os solos com menores granulometrias podem ter maior retração quando secos, resultando em uma maior deformabilidade e criando irregularidades no material finalizado. Além das especificações citadas, é também recomendado que o solo não

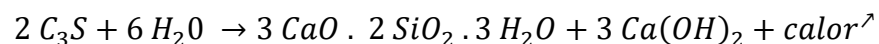
possua quantidades significativas de matéria orgânica, uma vez que a presença desta poderá prejudicar na hidratação do cimento.

2.2.3. Qualidade do Solo-Cimento

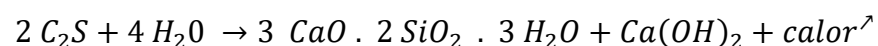
Além da escolha de um solo adequado, é necessária também a escolha de um bom cimento para a produção do solo-cimento. Abiko(1973) define o cimento como um material de origem calcária, que forma uma massa plástica, dá pega e endurece, podendo aglomerar uma boa proporção de materiais inertes. O seu material constituinte tem propriedades hidráulicas, que é a aptidão do produto em dar pega e endurecer na presença de água, e propriedades pozolânicas, que é a aptidão do produto em fixar a cal, em presença de água, e em formar compostos com propriedades hidráulicas.

Segundo Bauer (2008), a matéria-prima do cimento Portland tem como seus componentes principais cal, sílica, alumina e óxido de ferro, constituindo cerca de 95% da composição, e após ser pulverizada e homogeneizada, será submetida ao forno para a obtenção do clínquer. Neste processo ocorre a formação dos principais compostos do clínquer, o silicato tricálcico (C_3S), o silicato bicálcico (C_2S), o aluminato tricálcico (C_3A) e o ferro aluminato tetracálcico (C_4AF).

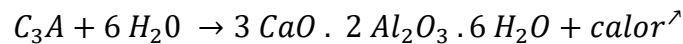
De acordo com Abiko (1973), além da influência na resistência, estes compostos possuem características particulares, que serão apresentadas a seguir:



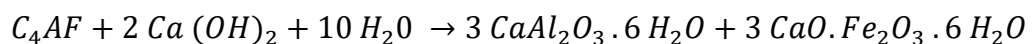
- O silicato tricálcico, ou C_3S , é o mais instável entre os silicatos componentes do cimento, liberando grande quantidade de calor de hidratação, uma vez que a sua hidratação começa em poucas horas. Tem pega lenta, endurecimento rápido e desenvolve alta resistência inicial. Este material reage na solução formando uma massa gelatinosa de sílica hidratada ao redor dos grãos de agregados, e libera grande quantidade de cal hidratada no sistema, resultando em uma alta alcalinidade, e tornando-o sensível ao ataque por águas agressivas.



- O silicato bicálcico, ou C_2S , possui hidratação lenta, pega lenta e endurecimento lento, libera pouco calor de hidratação e pouca cal hidratada, sendo aconselhada pra ambientes mais agressivos. Na hidratação deste composto, os cristais se recobrem de silicato hidratado e desenvolvem elevadas resistências no longo prazo.



- O aluminato tricálcico, ou C_3A , possui reação de hidratação imediata, liberando alto calor de hidratação, mas com baixa resistência inicial, não libera cal hidratada, e é muito sensível à ação de sulfatos agressivos, que reagem formando compostos expansivos, como a etringita.



- O ferro aluminato tetracálcico, ou C_4AF , tem uma reação de hidratação de início rápido, tem pequena resistência inicial, pega lenta e endurecimento rápido, liberando pouco calor de hidratação. Este composto possui ótima resistência ao ataque de águas agressivas e sulfatos. Segundo Neville (2016), este composto é uma solução sólida que varia de C_2F a C_6A_2F , sendo utilizado o C_4AF como simplificação por conveniência.

A quantificação potencial dos compostos do cimento Portland pode ser feita através das equações de Bogue, utilizando a porcentagem de cada óxido da massa total do cimento em substituição dos compostos entre parêntesis nas equações (1), (2), (3) e (4) (Neville, 2016).

$$C_3S = 4,07 (CaO) - 7,60 (SiO_2) - 6,72 (Al_2O_3) - 1,43 (Fe_2O_3) - 2,85 (SO_3) \quad (1)$$

$$C_2S = 2,87 (SiO_2) - 0,75 (C_3S) \quad (2)$$

$$C_3A = 2,65 (Al_2O_3) - 1,69 (Fe_2O_3) \quad (3)$$

$$C_4AF = 3,04 (Fe_2O_3) \quad (4)$$

Bauer (2008) relata que o C_3S é o maior responsável pelo ganho de resistência em todas as idades, principalmente nas iniciais. O C_2S é responsável pelo ganho de resistência em idades mais avançadas, o C_3A também contribui para a resistência, especialmente no primeiro dia, enquanto o C_4AF não tem nenhuma contribuição para a resistência.

Para o ganho de resistência do cimento, o material sofre hidratação quando misturado à água. Conforme Neville (2016), quando os silicatos e aluminatos presentes no cimento entram em contato com a água, ocorre a formação de produtos hidratados que irão se tornar uma massa firme e resistente com o decorrer do tempo.

De acordo com Bauer (2008), na hidratação do cimento o C_3S sofre hidrólise, formando C_2S e hidróxido de cal, então o C_2S produzido combina-se com a água, formando um gel hidratado. Já o C_3A hidrata-se na forma de cristais com variadas quantidades de água e o C_4AF forma uma fase amorfa e gelatinosa. Neste processo, o C_3A é considerado, de modo geral, como o maior responsável pelo início imediato do processo de endurecimento.

A NBR 16697 (2018) define o cimento Portland como o ligante hidráulico obtido da moagem do clínquer, no qual é adicionado uma ou mais formas de sulfato de cálcio e minerais estabelecidos pela norma. Segundo Bauer (2008), o sulfato de cálcio é adicionado para manutenção do tempo de pega do cimento, uma vez que os aluminatos anidros quando em soluções supersaturadas de gesso possuem solubilidade muito baixa.

O Cimento Portland é denominado de acordo com seu tipo, que possuem variações de composição ou propriedades especiais, conforme especifica na NBR 16697 (2018). O Cimento é identificado pela abreviação de Cimento Portland, através da sigla, CP, em seguida a classe de resistência, que pode variar entre 25, 32, 40 e ARI, e, por fim, de sufixos, que podem ser RS para resistentes à sulfatos e BC para cimentos com baixo calor de hidratação.

Além do clínquer, o cimento também pode ter adições de escória granulada de alto-forno, materiais pozolânicos e materiais carbonáticos na sua composição. Segundo Mehta e Monteiro (2008), as adições minerais do concreto são utilizadas com finalidade de redução de custo e aumento de trabalhabilidade do concreto no

estado fresco, podendo melhorar a resistência à expansão causada pela reação álcali-agregado, fissuração térmica, e ao ataque por sulfato.

Conforme Bauer (2008), as pozolanas são substâncias silicosas e aluminosas que reagem com a cal hidratada na presença de água, formando compostos cimentícios. As pozolanas podem ser utilizadas no cimento com diversas finalidades, entre elas, aumento de trabalhabilidade, diminuição de calor de hidratação, aumento de impermeabilidade, resistência ao ataque de sulfatos, águas agressivas, resistência a reação álcali-agregado, entre outros. Segundo Neville (2016), especula-se que além de reagir com o Ca(OH)_2 a pozolana também reage ao C_3A ou com seus produtos de hidratação.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a escória granulada é um produto não-cristalino e não-metálico, composto essencialmente de silicatos e aluminossilicatos de cálcio e outras bases, formado quando a escória de alto-forno fundida é resfriada rapidamente. Este material, quando finamente moído, possui capacidades autocimentantes, não necessitando do hidróxido de cálcio para formar produtos cimentícios. Segundo Neville (2016), quando hidratada, a escória reage de forma imediata liberando íons de cálcio e alumínio na solução. Cimentos com elevados teores de escória podem ser utilizados em lançamentos de grandes massas de concreto, devido ao baixo calor de hidratação liberado durante a hidratação inicial do cimento, também podendo ser usado em ambientes mais quimicamente agressivos.

Os materiais carbonáticos, também chamados de fillers, são materiais finamente moídos, que, graças a suas propriedades físicas, traz benefícios a algumas propriedades do concreto, como trabalhabilidade, massa específica, permeabilidade, capilaridade, exsudação, e tendência à fissuração. (Neville, 2016).

É importante a escolha do cimento, de acordo com o solo utilizado, visando um cimento que melhor se adeque à necessidade daquele solo. Em Grande (2003), a escolha do cimento CP V ARI Plus teve como objetivo analisar os comportamentos de tijolos compostos com cimento que liberam mais cal na mistura do solo-cimento, uma vez que a alcalinidade pode atacar a fração argilosa do solo e promover a formação de compostos que permitam uma maior compacidade do material.

Conforme explica Abiko (1973), a adição de cal em solos com grande quantidade de argilominerais causa duas reações rápidas e lentas, sendo as rápidas a floculação e a troca de íons, e as lentas a carbonatação e a reação pozolânica. Quando misturado cal à argila, ocorre um aumento do conteúdo eletrolítico da água nos poros, que favorece a floculação, além da troca de íons da argila pelo cálcio presente na cal. Estes fenômenos de troca eletrolítica estão relacionados com a capacidade dos argilominerais de absorver, reter e trocar ânions e cátions, quando presentes em certas soluções, havendo uma relação direta entre este fenômeno e o tipo de estrutura dos argilominerais. No fenômeno da carbonatação, a combinação dos óxidos e hidróxidos da cal junto a pequenas bolhas de CO_2 presentes no material reagem de forma lenta, firmando o solo como um corpo sólido. Nas reações pozolânicas, a mistura entre a cal e o solo produz a formação de gel de silicatos de cálcio, devido à reação dos silicatos do solo com o óxido de cálcio presentes na cal, que pode durar vários anos, e possui propriedades cimentícias.

Neville (2016) explica que a velocidade de hidratação do C_3S e C_2S em estado puro podem variar de formas consideráveis. Quando a hidratação ocorre com uma quantidade limitada de água, acredita-se que o C_3S sofra uma hidrólise que produza um silicato de cálcio menos alcalino, formando silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) e liberando cal na forma de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Além disso, mesmo necessitando quantidades próximas de água, o C_3S produz mais que o dobro de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formada na hidratação do C_2S , em termos de massa.

Segundo Santos e Caldeira (2021), o cimento comporta-se de forma inerte quando misturado ao solo, ativando suas propriedades apenas após a hidratação da mistura. A argila, que pode apresentar características de contração quando perde água e de expansão quando umedecida, necessita de maior quantidade de cimento para sua estabilização do que solos arenosos, tornando-se menos econômico o uso de solo-cimento em materiais que possuam em sua composição uma maior quantidade de argila.

Abiko (1973) nos mostra que a interação da argila com o cimento se dá, em grande parte, com a obtenção de endurecimento como uma consequência da reação entre os argilominerais e a cal liberada na hidratação do cimento. Uma das hipóteses mais aceitas sobre estas reações distinguem o processo de endurecimento entre

primário e secundário. A reação primária trata-se da hidrólise e hidratação do cimento, onde produtos secundários da hidratação são liberados na mistura e elevam o pH da água dos poros. Nesta fase da reação, o hidróxido de cálcio formado será mais reativo que a cal. Na segunda etapa da reação, onde há a participação da argila, há um aumento na flocculação iniciada pelo cimento, onde o hidróxido de cálcio inicia o ataque às partículas de argila, e a sílica e alumina reagem com os íons de cálcio dissolvidos. É no processo secundário que ocorre o aumento da resistência do material, devido a produção de material cimentício adicional durante a reação, que aumentam a ligação entre as partículas.

Ainda em Abiko (1973), foi realizado um estudo buscando descobrir as reações ocorridas durante a estabilização da argila com cimento Portland, sendo utilizados, entre outros, cimento CP I e um composto puro de C_3S . Este experimento concluiu que, nos corpos de prova moldado apenas com a pasta pura de C_3S , a resistência à compressão foi menor que na pasta pura de cimento CP I. Porém, quando misturado à argila, a mistura utilizando C_3S obteve melhor resistência mecânica, sugerindo uma modificação da hidratação do C_3S em presença de um argilomineral.

Além da escolha do solo e do cimento, a energia de compressão aplicada ao material também irá influenciar na qualidade do tijolo de solo-cimento. Quando o solo é compactado, a quantidade de água e partículas do solo mantém-se, eliminando apenas o ar dos vazios, e aumentando a massa específica deste solo. Porém, esta diminuição do ar dos vazios está diretamente relacionada à umidade do solo, havendo uma umidade ótima que, quando aplicada a energia de compactação, proverá uma densidade seca máxima, sendo este o máximo de compactação possível para este solo. (Pinto 2006)

Em Lelis (2004) podemos observar que a energia de compactação pode seguir o comportamento da curva de umidade ótima, onde teoricamente há uma energia ideal de compactação para cada tipo de solo. Nos ensaios de CBR realizado nos solos estudados, foi aplicada uma energia normal, que consiste em 12 golpes, energia intermediária, que consiste em 26 golpes, e energia modificada, que consiste em 55 golpes. Neste estudo, a aplicação da energia intermediária para todos os solos estudados resultou nos maiores valores do módulo resiliente em relação à energia normal, porém o mesmo não aconteceu na aplicação da energia modificada.

Outro fator de grande importância para a qualidade do solo-cimento é a água utilizada na mistura, e a cura do cimento após a moldagem. Campos, Brito e Nascimento Junior (2019) realizaram um estudo variando a água da mistura e o método de cura dos tijolos. Neste estudo foi utilizado o cimento CP II-Z e prensa hidráulica em todos os tijolos moldados, e foram utilizadas água potável, fornecida pela distribuidora de água da região, água de rio, coletada em uma fonte, e água tratada em uma Estação de Tratamento de Esgoto, sendo coletada na saída do tratamento terciário, etapa final do processo de tratamento. Os métodos de cura aplicados foram ao ar natural, em local livre de umidade e de luz solar direta, com rega manual, sendo regado uma vez ao dia, e em câmara úmida, onde em cada método foi utilizada a mesma água utilizada na mistura dos materiais. Neste estudo, os tijolos submetidos à cura em ar natural obtiveram a melhor média de valores de resistência aos 28 dias, porém, a cura em câmara úmida obteve valores de resistência mais altos quando utilizada a água de rio, chegando a 7,87 MPa.

2.2.4. Dosagem do Solo-Cimento

Para a dosagem do solo-cimento, é recomendada uma análise do solo a fim de determinar a quantidade de cimento necessária na mistura para que o material adquira as propriedades desejadas. A NBR 12253 (2012) especifica o método de dosagem do solo-cimento para o uso como camada de pavimento, e sugere traços para o ensaio de compactação do solo-cimento. Os valores indicados encontram-se na tabela 1.

Tabela 1 – Teor de cimento sugerido para o ensaio de compactação do solo-cimento

Classificação do solo (HRB)	Teor de cimento % em massa
A1-a	4
A1-b	4
A2	5
A3	7
A4	7

Fonte: NBR 12253 (2012)

Já nos estudos da Portland Cement Association (2001), há recomendações mais abrangentes em relação à quantidade de cimento a ser utilizada, de acordo com a classificação do solo, conforme pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2 – Proporção de cimento recomendadas para classificações AASHTO

Grupo de solo AASHTO	Porcentagem de cimento por peso de solo
A-1- a	3 ~ 5
A-1-b	5 ~ 8
A-2-4	5 ~ 9
A-2-5	
A-2-6	
A-2-7	
A-3	7 ~ 11
A-4	7 ~ 12
A-5	8 ~ 13
A-6	9 ~ 15
A-7	10 ~ 16

Fonte: Traduzido de Soil-Cement Inspector's Manual PCA (2001)

O teor do cimento varia de acordo com a classificação do solo, sendo recomendado um valor entre 4% e 7% em massa. Porém, devido a heterogeneidade dos solos, é necessária uma análise prévia do material em laboratório para que possa ser indicado o teor de cimento a ser utilizado de forma mais assertiva, onde é comum começar com um teor de 10%. Segundo a NBR 12023 (2012), que trata do ensaio de compactação do solo-cimento, deverá ser realizado uma curva de compactação do solo-cimento, a fim de encontrar o ponto de umidade em que há uma melhor compactação daquele material.

A NBR 12253 (2012) especifica que deverão ser registrados os valores de umidade ótima e da massa específica aparente seca máxima, experimentando 3 traços de solo-cimento, buscando aquele que atenda ao critério de resistência mínima de 2,1 MPa aos 7 dias de idade. O teor de cimento deverá ser determinado a partir de uma interpolação gráfica, utilizando o teor recomendado quando a resistência média for igual ou superior a 2,1 MPa aos 7 dias.

2.3. Alvenaria com tijolos de solo-cimento

O tijolo de solo-cimento é um componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos e/ou pigmentos, conforme define a NBR 8491 (2012), que se

aplica aos tijolos de solo-cimento destinados à execução de alvenaria sem função estrutural em obras de construção civil. Para este sistema construtivo, a família de tijolos é composta pelo tijolo maciço, tijolo vazado, tijolo canaleta, o meio-tijolo e a meia-canaleta.

A NBR 10834 (2012) define como bloco de solo-cimento o componente cuja altura seja igual ou superior à sua largura, enquanto a NBR 8491 (2012) define o tijolo de solo-cimento como sendo o componente de alvenaria cuja altura seja inferior à sua largura. Os tijolos e blocos podem ser maciços, quando o volume for igual ou superior a 85% do volume total aparente, ou vazados, quando apresentam furos verticais e volume total inferior a 85% do volume total.

A produção dos tijolos de solo-cimento ocorre de forma análoga à produção de blocos de concreto, onde a matéria-prima é separada, depois misturada, prensada e, em seguida, segue para que seja feita a cura do cimento. Segundo Neves e Faria (2011), a fabricação de tijolos de solo-cimento obedece às seguintes etapas:

- O preparo da terra inicia-se na extração do material na jazida, e transporte deste material para próximo de onde este material será utilizado. Nesta etapa, além da análise e caracterização do material, é também feito o destorroamento e peneiramento do solo;
- Após o processamento da matéria-prima, o material é misturado com o cimento enquanto seco e após a homogeneização é umedecido. As quantidades de cimento podem variar de acordo com o tipo de solo, sendo utilizado, geralmente, 10% de cimento em relação ao solo, calculados em volume. Alguns fabricantes recomendam o destorroamento do material misturado e umedecido, a fim de evitar eventuais torrões de solo úmido, otimizando a homogeneização da mistura;
- Com a homogeneização da mistura úmida, o material segue para o equipamento onde será moldado. Estes equipamentos podem ser manuais ou automáticos, que possuem variada energia de compactação, e que resulta em significativas variações de resistência final de acordo com a energia de compactação aplicada;
- Após a moldagem da unidade, o bloco compactado segue para a área de cura. Como trata-se da hidratação de cimento Portland, as unidades de alvenaria

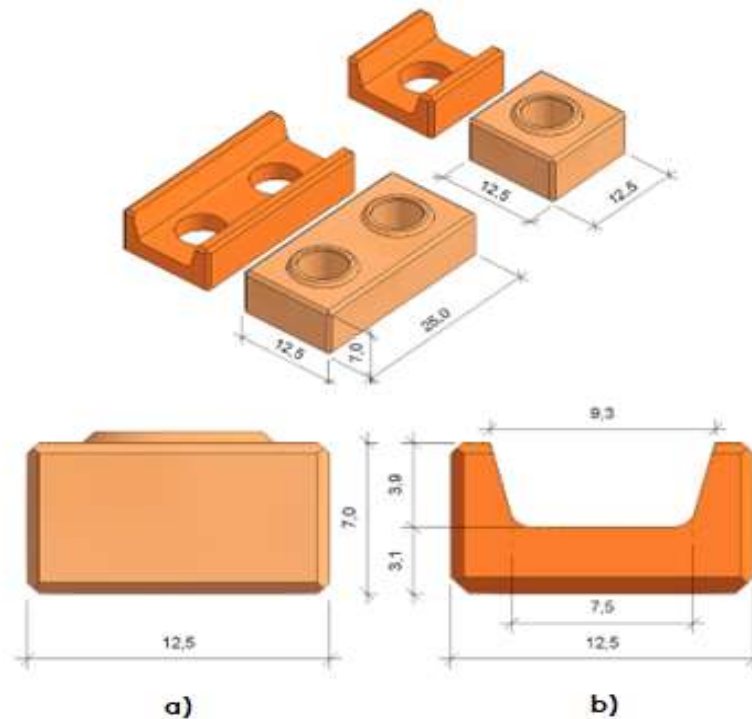
deverão descansar em local protegido de sol, chuva e vento, sendo mantidas úmidas durante os 7 primeiros dias após a moldagem. A NBR 10833 (2012) especifica que estas unidades deverão ser utilizadas apenas após 14 dias da sua fabricação.

A NBR 8491 (2012) estabelece como critérios de aceitação e rejeição a análise dimensional, a resistência à compressão e a absorção de água.

- Em relação à análise dimensional, esta norma especifica que as dimensões dos tijolos podem ser alteradas, desde que o tijolo possua forma externa de um paralelepípedo regular, com altura menor que a sua largura, especificando também que a amostra ensaiada deverá ter 1mm de tolerância em relação à suas dimensões nominais.
- O critério de resistência à compressão estabelece que estes blocos não deverão apresentar resistência à compressão média menor que 2 MPa, e amostras individuais não devem obter resistências menores que 1,7 MPa com idade mínima de 7 dias.
- O critério de absorção de água estabelece que a média dos valores obtidos não sejam maiores que 20% nem que as medições individuais ultrapassem os 22%.

As dimensões dos tijolos variam entre 10 x 20 cm, 12,5 x 25 cm e 15 x 30 cm, com alturas que variam de 6 a 8 cm para tijolos e 14 a 16 cm para blocos, sendo 12,5 x 25 cm as medidas tradicionais, com uma altura de 7 cm, e furos de 5,9 cm de diâmetro. Na figura 8 são demonstradas informações sobre dimensões dos tijolos modulares de solo-cimento da família 12,5 x 25 cm.

Figura 8 – Dimensões de tijolos modulares de solo-cimento. a) bloco comum e b) bloco canaleta



Fonte: Autor (2023)

No Brasil há várias empresas trabalhando com a produção de máquinas para prensagem de blocos, com linhas voltadas para a produção dos tijolos. Segundo a Eco Máquinas, suas linhas de produtos possuem produção entre 50 e 800 tijolos por hora, com energia de compactação de até 20 toneladas, podendo produzir tijolos e blocos de 12,5 x 25 cm e de 15 x 30 cm, com alturas entre 2 e 16 cm.

De acordo com ABCP (2000), as principais vantagens do tijolo de solo-cimento são, entre outros, a possibilidade de ser produzido no próprio canteiro da obra, utilização de equipamento de baixo custo para sua confecção, regularidade de suas formas, planezas e lisuras, necessitando de espessuras mínimas de argamassa de assentamento e revestimento, podendo dispensar o uso de revestimento desde que protegido da ação direta da água, não necessita de mão de obra especializada e possui resistência à compressão mínima similar à do tijolo cerâmico. Teixeira Filho (1996) nos traz que, esta técnica executiva utilizando tijolos de solo-cimento é de fácil assimilação por mão de obra não especializada, permitindo que a sua aplicação seja feita em regiões onde há escassez de recursos, sejam eles humanos ou materiais.

Segundo Souza (2006), a resistência à compressão dos tijolos de solo-cimento, em geral, é superior à do tijolo convencional, apresentando uma qualidade e aspecto

final superiores, com maior regularidade dimensional e planicidade das faces, propiciando um menor consumo de argamassa de assentamento e revestimento, possibilitando também que este seja empregado em alvenaria aparente, necessitando apenas uma pintura impermeável como acabamento.

2.3.1. Fabricação de Tijolos com Adições

Uma das formas de buscar incrementar o viés ecológico dos tijolos e também as suas propriedades mecânicas é utilizando adições à mistura de solo-cimento, podendo substituir parte do solo ou do cimento, e adicionando materiais como cinzas, escórias, fibras, resíduos de construção e demolição, entre outros. Neste tópico será abordado o uso destas adições através de estudos experimentais que avaliaram o desempenho dos tijolos feitos com adições.

Em seu estudo, Grande (2003) analisou diversos aspectos de tijolos modulares em solo-cimento através de métodos experimentais, testando traços diferentes para os tijolos e prensando-os utilizando uma prensa manual. Neste estudo, a mistura foi analisada em ensaios para a determinação do comportamento mecânico de cada mistura. Neste trabalho, foi utilizada a sílica em substituição à parte do cimento utilizada na mistura.

Foram moldados os tijolos de solo-cimento (L1) e solo-cimento-sílica (L2), onde, neste último, foi substituído 10% do cimento por sílica ativa. Foi usado como referência o traço indicado pelo fabricante da prensa, de 1:10, e utilizado um traço forte, de 1:7, e um traço fraco, de 1:12, para cada um dos lotes estudados. Visando a utilização de um cimento com maior disponibilidade no mercado, nesta fase foi utilizado o cimento CP II E 32 e os tijolos permaneceram em câmara úmida durante toda a avaliação. Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e absorção de água estão demonstrados na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de absorção de água e resistência à compressão obtidos em Grande (2003).

LOTE	TRAÇO (1:m)	Absorção de água (%)			RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – f (MPa) – NBR 8492						
		7 dias	28 dias	91 dias	f_3	f_7	f_{14}	f_{28}	f_{63}	f_{91}	f_{120}
L1A	1:10	14,70	13,30	11,90	1,38	1,78	1,90	2,83	3,37	3,39	3,48
L1B	1:7	12,40	11,00	10,40	1,79	2,31	3,81	4,22	5,55	5,62	5,65
L1C	1:12	15,90	14,00	13,10	0,89	0,97	1,75	2,24	2,92	2,93	2,92
L2A	1:10	13,90	13,80	12,90	1,45	1,89	1,82	2,39	3,12	3,34	3,70
L2B	1:7	13,60	12,50	11,30	1,84	2,39	2,38	2,78	3,76	3,90	4,19
L2C	1:12	13,10	12,70	11,60	1,01	1,20	1,48	1,85	2,40	2,57	2,82

Fonte: Grande (2003)

Como pôde-se observar, os traços que possuem mais cimento obtiveram melhores resultados na resistência à compressão. Nos lotes contendo sílica, foi observado que a velocidade de reação dos aglomerantes ocorre de forma mais lenta e, em todas as amostras, observou-se que houve uma relação proporcional entre o aumento resistência e a diminuição da absorção de água. Além disso, também foi realizado um ensaio de durabilidade nos tijolos, realizando seis ciclos de molhagem e secagem, a fim de atestar a perda de massa e a resistência à compressão após os ciclos, onde não houveram diferenças significativas nas massas, porém, as resistências dos tijolos que continham sílica e passaram pelos ciclos foi superior ao do grupo de controle do mesmo lote.

Em Lima (2020), foi analisada a viabilidade da utilização da fibra do resíduo de coco verde como adição à solo-cimento, sem que parte do material fosse substituída. Para isto, foi utilizada a fibra do coco verde seca como adição ao material em diferentes proporções e utilizado o cimento CP II – Z na mistura em quantidade fixada em 14% da massa total de solo-cimento seco. Para este ensaio, foi necessário o corte da fibra em pedaços de aproximadamente 15 a 20 mm de comprimento, formando a composição C2, C3 e C4 com a adição de fibra de coco de 2%, 3% e 4%, respectivamente. Na composição C1, tomada como traço de referência, não foi adicionada fibra.

Neste estudo, os ensaios de resistência à compressão e absorção de água foram realizados aos 7 dias de moldagem dos tijolos, apontando resultados satisfatórios para a incorporação da fibra de coco, conforme demonstra a tabela 4.

Tabela 4 – Resultados de absorção de água e resistência à compressão obtidos em Lima (2020)

Composição	Absorção de água (%)	Resistência à compressão (MPa)
C1	12,95	2,12
C2	12,61	2,42
C3	7,25	3,57
C4	9,04	3,78

Fonte: Lima (2020)

Como podemos observar na tabela 4, a adição da fibra de coco proporcionou melhoria na absorção de água e resistência mecânica, onde as composições com maiores quantidades de fibra se mostraram como as de melhor valor de resistência mecânica e também absorção de água.

2.3.2. Solo-Cimento Autoadensável

Em Fernandes (2017) foi estudada a viabilidade do uso do solo-cimento autoadensável (SCAA) para a fabricação de blocos de alvenaria. Para isso, foi analisado o SCAA no estado fresco, verificando a trabalhabilidade, viscosidade, autoadensabilidade, presença de exsudação e segregação. Também foi verificado o comportamento do material endurecido através de ensaios de compressão axial e diametral, absorção de água, massa específica e módulo de deformação realizado em corpos de prova cilíndricos, além do ensaio dos blocos e prismas produzidos com o material estudado.

Neste estudo, foi utilizado o cimento CP V ARI ULTRA, e o aditivo utilizado foi o TEC FLOW 7000, produzido pela GRACE BRASIL LTDA, indicado para concretos autoadensáveis de alto desempenho. Os traços escolhidos para este trabalho continham 0,4% de aditivos, 5% de cal e 10% de cinza de casca de arroz em substituição ao cimento, uma relação água / materiais secos de 30%, e com as proporções de solo-cimento variando entre 26,7% no traço 1, 30% no traço 2 e 33,3% no traço 3. Os blocos moldados possuíam dimensões de 15 x 29 x 19 cm, e um furo de 100mm de diâmetro, e foram moldados em fôrmas de madeira, e os furos utilizando canos de PVC.

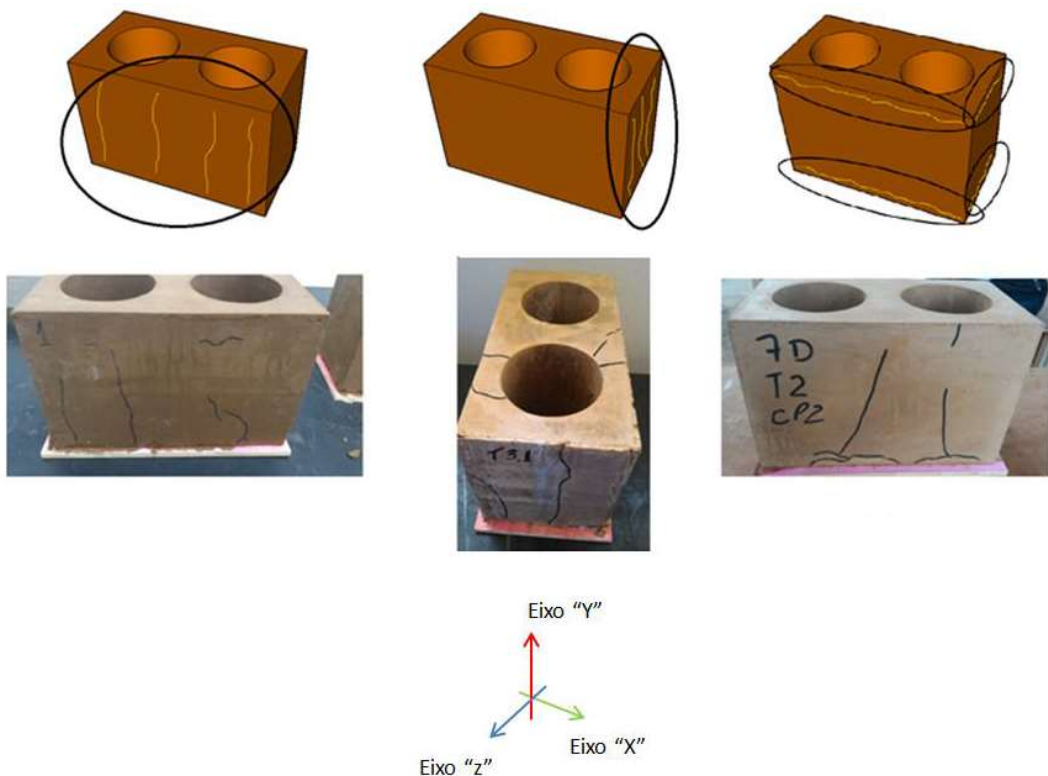
Para o SCAA em estado fresco, foram realizados os ensaios de slump flow e o ensaio do funil onde, após as análises, pode-se concluir que há uma relação entre a quantidade de cimento utilizada na mistura e a vazão mássica e espalhamento. A

argamassa de assentamento adotada no estudo tinha proporções de 1:1:6 de cimento, cal e areia grossa, onde esta proporção foi escolhida em ensaios de laboratório, utilizando aquela que possuía maior valor de resistência à compressão.

Analisando o material em estado endurecido, aos 7 dias de cura todos os traços já possuíam resistências acima de 5 MPa, sendo observado o alto ganho de resistência. Os ensaios de resistência à compressão mostraram valores médios de 6,04, 7,45 e 8,65 para os traços 1, 2 e 3, respectivamente, sendo valores muito próximos dos valores obtidos nos corpos de prova cilíndricos.

Nos ensaios em um único bloco, os tipos de fissuras mais comuns foram na área “Z”, provocadas por esforços de tração na direção “X”. Também foi observado fissuras na área “X”, decorrentes de esforços de tração na direção “Z”, e na direção “Y”, provocadas pela variação de deformação do bloco em relação ao prato da prensa. As representações das fissuras podem ser vistas na figura 9.

Figura 9 – Representação de fissuras características dos blocos



Fonte: Fernandes (2017)

Nos ensaios utilizando-se dois prismas também foram encontrados os mesmos padrões de fissuramento nos blocos, mas ocorreu também o aparecimento de fissuras horizontais próximo da interface bloco / argamassa. No primeiro traço, onde houve maior eficiência da distribuição de carga através da argamassa, obteve-se uma resistência de 3 MPa, e observou-se um padrão nas fissuras formadas, havendo também o deslocamento de uma parte do solo.

No segundo traço, observou-se que a argamassa não cumpriu com seu papel de forma integral, uma vez que não foram observadas fissuras horizontais próximas ao prato da prensa, indicando pouca deformação nessas regiões. Este traço apresentou uma resistência de 3 MPa.

No terceiro traço acredita-se que a argamassa de assentamento tenha influenciado o resultado dos ensaios, pois observou-se que nos ensaios deste traço as cargas mais amenas eram transmitidas de forma eficiente através da argamassa para os blocos, porém quando aplicadas cargas maiores, o conjunto colapsou, deixando claro que a ruptura ocorreu devido imperfeições na região de ligação. Para este caso, que se esperava os maiores valores de resistência, foi encontrada uma resistência de 2,7 MPa.

2.3.3. Estudos de Paredes e Pilares de Tijolos de Solo-Cimento

Para a execução de painéis de alvenaria, Grande (2003) produziu aproximadamente 1200 tijolos utilizando cimento CP V ARI Plus e utilizando o traço 1:7. Conforme especificação do fabricante, foi utilizado um triturador de solos para destorroamento do solo úmido após a mistura, visando uma melhor homogeneidade de umidade e textura do material. Os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão e absorção de água estão demonstrados na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de resistência à compressão e absorção de água utilizando cimento CP V ARI.

LOTE	TRAÇO (1:m)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO - f_{b28} (MPa) - NBR 8492			
		f_{b7}	C.V. (%)	f_{b28}	C.V. (%)
L3	1:7	5,25	2,2	6,91	5,2
ABSORÇÃO DE ÁGUA (%) - NBR 8492					
		1.^a determinação (7 dias) - média		2.^a determinação (28 dias) - média	
L3	1:7	10,3		8,9	

Fonte: Grande (2003)

De acordo com este estudo, o uso do cimento CP V ARI além de proporcionar uma maior resistência à compressão também proporciona um menor tempo para utilização dos tijolos após a moldagem, podendo ser utilizado a partir dos 7 dias.

Foram realizados três painéis de parede com 1,20 x 2,40 m, conforme especifica a NBR 8949 (1985), e os tijolos que não foram utilizados para as paredes foram submetidos a ensaios complementares de prismas de dois e três tijolos com diferentes técnicas de assentamento. Também foram moldados corpos de prova cilíndricos utilizando a argamassa de assentamento utilizada em cada caso.

Para o assentamento dos tijolos foi utilizada uma argamassa de assentamento no traço 1:0,25:3 de cimento, cola PVA e solo peneirado. A argamassa foi aplicada utilizando bisnaga, aplicando o filete na superfície do tijolo nos sentidos horizontais e verticais. Após o assentamento dos tijolos, realizou-se o capeamento dos topos dos painéis com argamassa de cimento e areia, nas proporções de 1:3 em massa, com espessura de 1,5cm, para regularizar e nivelar a superfície em contato com a viga de distribuição.

Com ajuda de transdutores para medir as deformações no centro, deformações na altura da parede e do deslocamento horizontal da parede. Os painéis foram ensaiados nos dias 47, 48 e 55 desde a confecção dos tijolos, porém, devido um erro de operação com os maquinários envolvidos, o primeiro ensaio não pôde ser considerado como representativo.

Nos resultados obtidos, observou-se uma boa distribuição de esforços nas paredes, fato comprovado pela simetria das fissuras na face e na contraface dos painéis, não tendo ocorrido fissuras, destacamento ou esfarelamento dos tijolos. A

deformação das paredes foi muito pequena, e a ruptura dos painéis foi frágil. Segundo o autor, é válido ressaltar que neste ensaio não foram utilizadas cintas de amarração e não se fez uso de grauteamento dos furos.

Os ensaios realizados nos prismas de 2 e 3 tijolos visavam analisar a influência da argamassa de assentamento, onde um grupo foi assentado com a argamassa de assentamento citada acima, e o outro foi assentado a seco, sem uso de argamassa. Neste trabalho, a realização de ensaio com prisma assentado a seco foi realizada buscando desmistificar informações de que, por ser uma alvenaria de encaixe, era possível a execução de painéis sem a necessidade de utilizar argamassa de assentamento. Os resultados podem ser encontrados na tabela 6.

Tabela 6 – Resultados de ensaio de prismas em Grande (2003)

TIJOLOS f_{b119m} (MPa) (ref.)	PAREDE	TENSÃO PAREDE f_{pa} (MPa)		f_{pm} (MPa) PRISMAS ASSENTADOS COM ARGAMASSA				f_{pm} (MPa) PRISMAS ASSENTADOS A SECO			
		f_{pa}	f_{pa}/f_{bm}	2 tijolos		3 tijolos		2 tijolos		3 tijolos	
				f_{pm}	f_{pm}/f_{bm}	f_{pm}	f_{pm}/f_{bm}	f_{pm}	f_{pm}/f_{bm}	f_{pm}	f_{pm}/f_{bm}
8,3	1	1,9	0,23	8,0	0,96	6,0	0,72	5,6	0,67	4,2	0,51
	2	2,7	0,33	7,2	0,87	6,2	0,74	5,6	0,67	4,5	0,54
	3	3,0	0,36	7,9	0,95	6,3	0,76	5,4	0,65	4,3	0,52

Fonte: Grande (2003)

Como pode-se ver na tabela, o grupo de amostras que utilizou argamassa para assentamento obteve melhores resultados que o grupo de amostras assentado a seco, confirmando que o assentamento a seco pode acarretar implicações relacionadas à precisão dimensional e perfeição dos encaixes, podendo reduzir o desempenho da alvenaria. Em análise aos dados obtidos, pôde-se observar uma diferença significativa, de cerca de 30%, em relação à resistência dos dois grupos de amostras tanto para os prismas de 2 tijolos quanto para os prismas de 3 tijolos. Este resultado confirma que a presença da argamassa, mesmo sem espessuras significativas, contribui para o desempenho estrutural da parede.

No seu estudo, Borja (2019) teve como objetivo a análise do comportamento estrutural de pilares armados e não armados utilizando blocos de terra compactado (BTC), submetidos a carregamento centrado. Os blocos utilizados neste estudo foram moldados e caracterizados pelo próprio autor.

Para este estudo, foi utilizado aço CA-50 com 8mm de diâmetro na armadura da base e como armadura longitudinal dos pilares, e utilizado o aço CA-50 de 5mm na armadura transversal da base. O cimento adotado foi o CP II Z 32, sendo utilizado para os grautes, a base de suporte e transporte dos pilares e para produzir os tijolos, na proporção de 12% em relação à massa de solo.

No ensaio de compressão realizado com os corpos de prova saturados, os blocos moldados apresentaram uma baixa resistência à compressão, de 1,48 MPa, em média. Já nos ensaios realizados com o corpo de prova seco, a resistência à compressão média obtida foi de 2,69 MPa. A absorção de água destes tijolos foi de 18,7%, em média, bem próximo ao limite estabelecido pela NBR 8491 (2012) de 20% em valores médios.

O ensaio de módulo de elasticidade obteve valores médios de 167,91 MPa para a situação de uso de tijolos saturados, considerando que o material apresentou um comportamento elástico-linear, enquanto que na situação de uso dos tijolos secos, o módulo de elasticidade foi de 371,29 MPa.

A argamassa utilizada para o assentamento dos tijolos no pilar foi ensaiada utilizando prismas cilíndricos, obtendo valores médios de 0,27 MPa. O concreto da base também foi ensaiado, onde a resistência média encontrada foi de 20,4 MPa, obtendo-se um $f_{ck} = 13,8$ MPa aos 28 dias.

Os corpos de prova moldados para a análise do graute obtiveram valores médios de resistência de 5,94 MPa, tendo sido dosado para atingir a mesma resistência à compressão dos blocos, porém obtendo valores acima do esperado, onde o autor expressa a dificuldade de produzir um graute com tão baixa resistência.

Os pilares ensaiados possuíam seção de 25x25 cm, o que corresponde a 2 blocos por fiada, intercalando sua posição para que haja o intertravamento e uma melhor distribuição das tensões a cada fiada.

Nos pilares não reforçados com graute, foi obtida uma tensão de ruptura média de 1,99 MPa, observando-se apenas fissuras horizontais nos blocos e nas interfaces bloco / argamassa, apenas no pilar 3 foram encontradas fissuras verticais nos blocos, que são características do movimento gerado pela compressão do pilar. A ruptura das

amostras deste caso ocorreu por esmagamento de tijolo na parte inferior ou no terço médio do pilar.

Nos pilares reforçados apenas por graute, a tensão de ruptura média obtida foi de 2,32 MPa, ocorrendo poucas fissuras antes do colapso da estrutura, que distribuíram-se na horizontal e também na vertical. A ruptura das amostras deste caso ocorreu por esmagamento na parte superior, terço médio, ou parte inferior do pilar.

No ensaio utilizando pilares reforçados com graute e aço, a resistência média obtida foi de 2,9 MPa, ocorrendo apenas fissuras horizontais por flexão no componente da estrutura. A ruptura dessas amostras ocorreu por esmagamento de blocos, próximo à base da coluna.

CAPÍTULO 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados em detalhes os métodos utilizados nos estudos realizados neste trabalho.

Inicialmente, os métodos utilizados neste trabalho consistiam na análise de estudos realizados anteriormente e comparação com ensaios de laboratório a serem realizados, porém, devido consequências das restrições impostas pela pandemia de Covid-19, o uso do laboratório foi impossibilitado, restando como alternativa a análise de estudos já realizados na área e novos estudos que não envolvessem uso de laboratório.

A etapa do estudo comparativo trata-se de uma comparação entre o sistema construtivo utilizando blocos cerâmicos e o sistema construtivo utilizando tijolos de solo-cimento através de um orçamento analítico dos serviços previstos em cada um dos métodos, tomando como base os dados do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices – SINAPI como referência de custos e produtividade, sendo adotado como referência a base de dados do mês de setembro de 2022 para o estado de Pernambuco.

As etapas de métodos de assentamento e aplicação de revestimentos consistem em uma pesquisa literária em trabalhos realizados nessa área, apontando pontos de relevância para este estudo.

A etapa de implementação de fábrica de tijolos de solo-cimento consiste em uma visita técnica a uma fábrica recém implementada para obtenção de informações a respeito da implementação, além de uma pesquisa de mercado com finalidade de obtenção de preços de maquinários utilizados em fábricas destinadas à produção de solo-cimento.

3.1. Estudo Comparativo

Segundo SINAPI (2020), a orçamentação busca alcançar a estimativa de custos antes que se transforme em despesas, sendo necessário o acompanhamento e a gerência destes custos à medida que ocorrem. A definição de um orçamento é a identificação, descrição, quantificação, análise e valoração de mão de obra, equipamentos, materiais custos financeiros, custos administrativos, impostos, riscos

e margem de lucro desejada para adequada previsão do preço final de um empreendimento.

De acordo com Dias (2015), a engenharia de custos é o ramo da engenharia que estuda os métodos de projeção, apropriação e controle dos recursos necessários à realização dos serviços que constituem uma obra ou um projeto, que, por sua vez, são tratados como um empreendimento temporário com data de início e término previstos, atuando de forma a atingir os objetivos propostos dentro de parâmetros de qualidade determinados

Segundo Coêlho (2006), o orçamento é um instrumento disciplinador do planejamento, devendo ser bem detalhado. No orçamento deve-se constar a descrição do serviço com as respectivas unidades de medida e quantidades, a composição dos preços unitários, envolvendo materiais e mão-de-obra, preço unitário por item, e o preço total da obra.

A edificação utilizada para este estudo foi adaptada do Caderno CAIXA, Projeto Padrão – Casas Populares disponibilizado pela GIDUR/VT de Vitória – ES no ano de 2006. O projeto foi redesenhado no Autodesk Revit para que fosse feita a modulação da alvenaria, sendo utilizada as medidas moduladas para ambos os casos estudados. O levantamento dos serviços foi realizado através de especificações técnicas presentes no Caderno CAIXA, e também através de levantamento de quantitativos a partir do projeto e suas plantas construtivas.

Os orçamentos foram divididos em 12 etapas: Serviços Preliminares, Fundações, Estruturas, Paredes e painéis, Esquadrias, Cobertura, Instalações elétricas, Instalações Hidráulicas, Instalações Sanitárias, Pisos, Revestimentos e Pintura.

- Nos serviços preliminares, foi considerada a limpeza do terreno utilizando enxadas, devido ser uma área pequena, e a locação da obra utilizando gabarito de tábuas;
- A etapa de fundações consiste na escavação e concretagem de uma viga baldrame, estando inclusas a escavação de valas, corte, dobra e fornecimento do aço, concretagem utilizando carrinhos de mão (jericas), e impermeabilização utilizando emulsão asfáltica;

- A etapa de esquadrias abrange as portas e janelas, inclusos dobradiças, batentes e fechaduras. A composição adotada para as janelas também inclui os vidros;
- A etapa de cobertura foi dividida entre a fabricação do madeiramento para telhado de 2 águas e o telhamento utilizando telhas cerâmicas;
- Para a etapa de instalações elétricas, hidráulicas e hidrossanitárias, o orçamento contempla a instalação dos pontos referidos no projeto original;
- A etapa de pisos contempla a execução do piso interno do imóvel, uma calçada e um lastro;
- E a etapa de pintura contempla a pintura utilizando tinta látex acrílica nas áreas internas e externas de todo o imóvel, com exceção das áreas onde será aplicado revestimento cerâmico.

Devido algumas etapas e seus respectivos quantitativos dependerem do método construtivo, algumas destas mantiveram-se inalteradas em ambos os métodos. As etapas que sofreram maior impacto com a variação dos métodos foram as etapas de estrutura, paredes e painéis e revestimentos. As metodologias utilizadas para cada método serão abordadas nos tópicos seguintes deste capítulo.

3.1.1. Método construtivo utilizando Blocos Cerâmicos

No método construtivo utilizando blocos cerâmicos foi utilizado os blocos de vedação com dimensões 9 x 19 x 19 cm desempenhando um papel autoportante. Apesar de não ser uma prática recomendada ou normatizada, é comum ver construções utilizando alvenaria de vedação desempenhando com a função de sustentar a estrutura da edificação, visando a diminuição dos custos com estruturas em concreto, e abrindo mão da segurança estrutural da edificação, principalmente nas obras de residências de pavimento único construídas sem o devido acompanhamento técnico por parte da população com menor disponibilidade financeira.

A prefeitura da cidade do Recife, na Lei nº 17.184 de 16 de janeiro de 2006, permite a construção utilizando alvenaria portante para edificações de um pavimento, podendo estender esta permissão para até dois pavimentos em casos de construções habitacionais unifamiliares. Segundo esta, “Entende-se por alvenaria resistente ou portante aquela constituída de elementos não estruturais que suporte cargas além do

seu peso próprio” (Recife (PE), 2006). Portanto, foi considerado este método construtivo utilizando alvenaria de vedação desempenhando função portante apenas como referência de custos, reiterando que este não é um método recomendado e que os orçamentos apresentados neste estudo são apenas para fins de comparação, não devendo ser executados.

Este método construtivo consiste em executar a alvenaria de forma intertravada, fazendo amarrações diretas em todos os pontos possíveis, e amarrações indiretas usando telas de aço para alvenaria nas ligações de paredes onde não seja possível a realização da amarração direta.

3.1.1.1. Estrutura

A etapa de estrutura está dividida entre amarração de paredes e laje. Nesta etapa foi considerada uma cinta para amarração de paredes, conforme especificado na NBR 8545 (1984), item 4.1.16, executada após a finalização da parede, com objetivo de, além de reforçar a amarração de paredes, também proporcionar uma melhor distribuição das cargas dos apoios do telhado, e uma pequena laje pré-moldada, localizada acima do banheiro, que irá suportar e distribuir o peso da caixa-d'água nas paredes do banheiro. Na tabela 7 são demonstradas as composições utilizadas na etapa de estrutura.

Tabela 7 – Custo unitário dos serviços de estrutura, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.

Tipo	Código	Descrição	Un.	Valor Unit	Totais			
					M.O	%	MAT	%
Estrutura								
Amarração de Paredes								
C. Sinapi	93204	CINTA DE AMARRAÇÃO DE ALVENARIA MOLDADA IN LOCO [...]	M	R\$ 64,95	R\$ 15,76	24,26%	R\$ 49,19	75,74%
Laje								
C. Sinapi	101964	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, [...]	M2	R\$ 178,47	R\$ 23,59	13,22%	R\$ 154,88	86,78%

Fonte: Autor (2023)

3.1.1.2. Paredes e Painéis

Na etapa de Paredes e Painéis, foram consideradas as paredes, vergas e contravergas necessárias para a execução da residência.

Nas paredes, conforme especifica a metodologia indicada pela base SINAPI, foram descontados todos os vãos da edificação no levantamento dos quantitativos. Para o assentamento dos tijolos, foi utilizada uma argamassa 1:2:8 de cimento/cal/areia úmida, e especificado o uso de telas de aço para a amarração indireta entre paredes.

Para a execução de vergas e contravergas, o uso do concreto pré-moldado foi indicado como o menos oneroso para a situação, utilizando-se concreto com fck = 20 MPa para ambos os casos, o uso de aço CA-60 de 5mm de diâmetro para vergas de portas e aço CA-50 com 6,3mm de diâmetro para vergas e contravergas das janelas. Na tabela 8 são demonstradas as composições utilizadas para esta etapa.

Tabela 8 – Custo unitário dos serviços de paredes e painéis, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.

Tipo	Código	Descrição	Un.	Valor Unit	Totais			
					M.O	%	MAT	%
Paredes e Painéis								
Paredes								
C. Sinapi	103328	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS FURADOS NA HORIZONTAL DE 9X19X19 CM [...]	M2	R\$ 78,57	R\$ 43,45	55,30%	R\$ 35,12	44,70%
Vergas								
C. Sinapi	93182	VERGA PRÉ-MOLDADA PARA JANELAS COM ATÉ 1,5 M DE VÃO	M	R\$ 49,64	R\$ 8,94	18,01%	R\$ 40,70	81,99%
C. Sinapi	93184	VERGA PRÉ-MOLDADA PARA PORTAS COM ATÉ 1,5 M DE VÃO	M	R\$ 36,51	R\$ 7,71	21,12%	R\$ 28,80	78,88%
Contravergas								
C. Sinapi	93194	CONTRAVERGA PRÉ-MOLDADA PARA VÃOS DE ATÉ 1,5 M DE COMPRIMENTO	M	R\$ 48,65	R\$ 8,79	18,07%	R\$ 39,86	81,93%

Fonte: Autor (2023)

3.1.1.3. Revestimentos

A etapa de revestimento foi subdividida entre revestimento interno, revestimento externo e revestimento de áreas molhadas, discriminados na tabela 9. Para todas estas etapas, foi especificado o preparo da superfície com chapisco, visando uma melhor aderência do revestimento à parede.

Para as áreas molhadas foi especificado o uso de emboço para recebimento de cerâmica e o revestimento cerâmico.

Para o revestimento externo e interno foi utilizada a massa única como preparo para recebimento da pintura.

Tabela 9 – Custo unitário dos serviços de revestimentos, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.

Tipo	Código	Descrição	Un.	Valor Unit	Totais			
					M.O	%	MAT	%
AC - Revestimentos								
Revestimento Interno								
C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA	M2	R\$ 8,60	R\$ 5,28	61,40%	R\$ 3,32	38,60%
C. Sinapi	87529	MASSA ÚNICA, PARA RECEBIMENTO DE PINTURA, TRAÇO 1:2:8,	M2	R\$ 39,42	R\$ 15,42	39,12%	R\$ 24,00	60,88%
Revestimento Externo								
C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA	M2	R\$ 8,60	R\$ 5,28	61,40%	R\$ 3,32	38,60%
C. Sinapi	87529	MASSA ÚNICA, PARA RECEBIMENTO DE PINTURA, TRAÇO 1:2:8	M2	R\$ 39,42	R\$ 15,42	39,12%	R\$ 24,00	60,88%
Revestimento de áreas molhadas								
C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA	M2	R\$ 8,60	R\$ 5,28	61,40%	R\$ 3,32	38,60%
C. Sinapi	87528	EMBOÇO, PARA RECEBIMENTO DE CERÂMICA, TRAÇO 1:2:8	M2	R\$ 46,05	R\$ 20,21	43,89%	R\$ 25,84	56,11%
C. Sinapi	93393	REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PAREDES INTERNAS COM PLACAS TIPO ESMALTADA PADRÃO POPULAR DE DIMENSÕES 20X20 CM	M2	R\$ 53,14	R\$ 13,52	25,44%	R\$ 39,62	74,56%

Fonte: Autor (2023)

3.1.2. Método Construtivo Utilizando Tijolos De Solo-Cimento

No método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento, foram utilizados tijolos encaixáveis de 12,5 x 25 x 7 cm, também denominados de tijolos modulares ecológicos. Estes tijolos além de possuírem encaixes que visam acelerar o assentamento, também possuem dois furos com 5,9 cm de diâmetro, que podem ser utilizados para a passagem das instalações elétricas, tubulações hidrossanitárias e também para preenchimento com concreto, formando os grautes da estrutura.

Este método construtivo é desenvolvido de forma análoga à alvenaria estrutural, embora seu uso seja limitado ao uso como vedação. Além da possibilidade dos grautes para reforçar a estrutura, este sistema também conta com meio-tijolo, dispensando o corte dos blocos, e o tijolo canaleta, para que sejam executadas as cintas de amarração, vergas e contravergas.

3.1.2.1. Estrutura

Esta etapa foi dividida entre grautes verticais, que trata dos furos verticais preenchidos com concreto, grautes horizontais, que trata da cinta de amarração de paredes, e a laje, que servirá de suporte para a caixa d'água acima das paredes do banheiro.

Os grautes verticais foram aplicados nas bordas de vãos, encontros de paredes e também em espaçamentos de até 1 metro em pontos onde não haviam encontros de parede ou vãos. Foi adotado um graute em concreto de $f_{ck} = 20$ MPa, com traço de 1:0,04:1,8:2,1 em massa seca de cimento/ cal/ areia grossa/ brita 0, e utilização de vergalhões de aço CA-50 com 8mm de diâmetro em cada ponto de graute, conforme especifica no manual de utilização dos tijolos, fornecido pela empresa Eco Produção.

Os grautes horizontais são previstos no uso como cintas de amarração de paredes, utilizando blocos canaleta como fôrma para estas cintas, com concreto de traço igual ao adotado para os grautes verticais, e aço CA-50 de 6,3 mm de diâmetro. Foi especificada a execução do graute horizontal intermediário, na altura das contravergas das janelas J1, e também na última fiada das paredes, ambos com finalidade de distribuir as cargas resultantes de telhado e do peso próprio da parede de uma maneira mais uniforme através da parede e dos grautes verticais.

A figura 10 demonstra a disposição dos grautes horizontais e verticais utilizados neste método construtivo. Para uma melhor visualização do esqueleto estrutural, a visualização das peças de alvenaria foi desabilitada.

Figura 10 – Demonstração dos grautes utilizados no método construtivo utilizando tijolos vazados de solo-cimento. Para esta imagem, a visualização das peças de alvenaria foi desabilitada.



Fonte: Autor (2023)

A laje consiste em uma estrutura em concreto pré-moldado executada acima do banheiro, com função de sustentar a caixa d'água, e que não sofrerá alterações em relação ao método construtivo utilizado. As composições utilizadas na etapa de estrutura estão discriminadas na tabela 10.

Tabela 10 – Custo unitário dos serviços de estrutura, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.

Tipo	Código	Descrição	Un.	Valor Unit	M.O	Totais		
						%	MAT	%
Estrutura								
Grautes Verticais								
C. Sinapi	92802	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM	KG	R\$ 14,28	R\$ 0,33	2,31%	R\$ 13,95	97,69%
C. Sinapi	89993	GRAUTEAMENTO VERTICAL EM ALVENARIA ESTRUTURAL	M3	R\$ 981,78	R\$ 327,93	33,40%	R\$ 653,85	66,60%
Grautes Horizontais								
C. Própria	10	CINTA DE AMARRAÇÃO COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA SOLO-CIMENTO E AÇO 6,3MM	M	R\$ 27,42	R\$ 7,26	26,48%	R\$ 20,16	73,52%
C. Própria	101170	CINTA DE AMARRAÇÃO EM MEIA ALTURA COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA SOLO-CIMENTO E AÇO 6,3MM	M	R\$ 27,42	R\$ 7,26	26,48%	R\$ 20,16	73,52%
Laje								
C. Sinapi	101964	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA	M2	R\$ 178,47	R\$ 23,59	13,22%	R\$ 154,88	86,78%

Fonte: Autor (2023)

A composição ‘Cinta de amarração’ e ‘Cinta de amarração em meia altura’ utilizada neste trabalho foi adaptada de outra composição da SINAPI, e está descrita na tabela 11.

Tabela 11 - Composição de custo de execução da cinta de amarração utilizada no método utilizando tijolos de solo-cimento.

Tipo	Código	Descrição	Un.	Qtd.	Preço Unit	
Composição Própria	10	CINTA DE AMARRAÇÃO DE ALVENARIA MOLDADA IN LOCO [...]	M			R\$ 27,85
C. Sinapi	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,253	R\$ 22,55	R\$ 5,71
C. Sinapi	88242	AJUDANTE DE PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,126	R\$ 18,25	R\$ 2,30
C. Sinapi	90279	GRAUTE FGK=20 MPA; TRAÇO 1:0,04:1,8:2,1 [...]	M3	0,0114	R\$ 493,15	R\$ 5,62
C. Sinapi	92792	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 6,3 MM [...]	KG	0,5	R\$ 13,92	R\$ 6,96
Insumo Próprio	2	CANALETA TIJOLO SOLO-CIMENTO, 25 X 12,5 X 7 CM	UN	4,27	R\$ 1,50	R\$ 6,41
C. Sinapi	88715	ARGAMASSA TRAÇO 1:2:9 (EM VOLUME DE CIMENTO, CAL E AREIA MÉDIA ÚMIDA	M3	0,0014	R\$ 607,55	R\$ 0,85

Fonte: Autor (2023)

3.1.2.2. Paredes e Painéis

A etapa de Paredes e Painéis foi subdividida entre paredes, vergas e contravergas.

No quantitativo de paredes foram descontadas todas as áreas que correspondem aos vãos da edificação, conforme especifica a metodologia aplicada na base de dados da SINAPI, além disso, conforme especificado na composição obtida no banco de dados SINAPI, é considerado o uso de filetes de cola branca base PVA como material de assentamento dos tijolos, mesmo não havendo informações suficientes a respeito da eficiência deste material para esta finalidade. Para a amarração indireta de paredes, é previsto o uso de grampos de aço CA-50 e 6,3mm a cada 50 centímetros de parede construída, amarrados às ferragens presentes e concretados juntamente dos grautes verticais.

As vergas e contravergas foram executadas utilizando concreto de 20 MPa e aço CA-50 com bitola de 6,3mm, utilizando tijolos canaleta em solo-cimento. As contravergas serão executadas apenas nas janelas J2 e J3, uma vez que na altura onde seriam as contravergas das janelas J1 está prevista a passagem de cinta de amarração intermediária, compreendendo todo o perímetro da edificação. As composições utilizadas na etapa de paredes e painéis estão demonstradas na tabela 12.

Tabela 12 - Custo unitário dos serviços de paredes e painéis, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.

Tipo	Código	Descrição	Un.	Valor Unit	Totais			
					M.O	%	MAT	%
Paredes e Painéis								
Paredes								
C. Própria	101160	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCO DE SOLO-CIMENTO 7X12,5X25CM	M2	R\$ 143,97	R\$ 24,27	16,86%	R\$ 119,70	83,14%
Vergas								
C. Própria	101163	VERGA MOLDADA IN LOCO COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA EM SOLO-CIMENTO PARA PORTAS COM ATÉ 1,5M DE VÃO	M	R\$ 40,47	R\$ 7,41	18,31%	R\$ 33,06	81,69%
C. Própria	101161	VERGA MOLDADA IN LOCO COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA EM SOLO-CIMENTO PARA JANELAS COM ATÉ 1,5M DE VÃO	M	R\$ 30,86	R\$ 7,18	23,27%	R\$ 23,68	76,73%
Contravergas								

C. Própria	101165	CONTRAVERGA MOLDADA IN LOCO COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA EM SOLO-CIMENTO PARA VÃOS ATÉ 1,5M	M	R\$ 24,27	R\$ 7,18	29,58%	R\$ 17,09	70,42%
------------	--------	--	---	-----------	----------	--------	-----------	--------

Fonte: Autor (2023)

Como podemos observar na tabela, o custo de execução da alvenaria em solo-cimento com mão de obra mantém-se entre os 20% do preço total, enquanto no sistema utilizando blocos cerâmicos este custo passa de 50% do valor total.

Na criação da composição do item de 'Alvenaria de vedação de bloco de solo-cimento' foi utilizada uma composição presente no Catálogo de Referências da SINAPI, demonstrado na tabela 13, onde não consta o preço dos tijolos de solo-cimento. Para o uso dessa composição, que já constava com os quantitativos e coeficientes de produtividade, foi atribuído um valor para o tijolo de solo-cimento através da precificação ofertada pela empresa ConnectECO, fornecedora deste material na região de Recife-PE.

Tabela 13 - Composição do serviço de execução de alvenaria de vedação em bloco de solo-cimento obtido no catálogo SINAPI 09/2022.

MACROCLASSE . CLASSE . GRUPO	CÓDIGOS	DESCRIÇÃO	UN	COEFICIENTE	CADERNO TÉCNICO/ ITEM SEM PREÇO OU SEM CUSTO	ÚLTIMA ATUALIZAÇÃO	CONDIÇÃO DE CUSTO TOTAL
01.PARE. ALVD.025/01	101160	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCO DE SOLO-CIMENTO (TIJOLO ECOLÓGICO) DE 7X15X30CM (ESPESSURA 15CM) . AF_05/2020	M2		Alvenarias Diversas	05/2020	Sem Custo
INSUMO	44396	COLA BRANCA BASE PVA	KG	0,53200			
COMPOSIÇÃO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,46100			
COMPOSIÇÃO	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,92100			
INSUMO	44363	BLOCO DE SOLO-CIMENTO (TIJOLO ECOLOGICO) - *25 X 12,5 X 7* CM	UN	54,29000	SEM PREÇO		
INSUMO	44364	MEIO BLOCO DE SOLO-CIMENTO (TIJOLO ECOLOGICO) - *12,5 X 12,5 X 7* CM	UN	3,56000	SEM PREÇO		

INSUMO	44212	BLOCO TIPO CANALETA DE SOLO-CIMENTO (TIJOLO ECOLOGICO) - *25 X 12,5 X 7* CM	UN	5,03000	SEM PREÇO
--------	-------	---	----	---------	-----------

Fonte: SINAPI (09/2022)

3.1.2.3. Revestimentos

A etapa de revestimento foi subdividida entre revestimento interno, revestimento externo e revestimento de áreas molhadas. Segundo o manual do fabricante Eco Produção, os frisos rebaixados nas bordas dos tijolos assentados facilitam a aderência dos materiais no acabamento, necessitando apenas de uma fina camada de revestimento, não citando a necessidade do uso do chapisco. Porém, devido à falta de estudos específicos a respeito de revestimentos utilizando esta tecnologia, neste estudo foi considerado o uso de chapisco para as situações onde fosse necessária a aplicação de revestimento cerâmico ou massa única.

Para as áreas molhadas foi especificado o uso chapisco, emboço para recebimento de cerâmica e de revestimento cerâmico.

Para o revestimento externo foi utilizado chapisco para preparo do substrato e massa única para recebimento de pintura, enquanto os revestimentos internos não foram utilizados, aplicando-se a pintura diretamente nos tijolos, pois, de acordo com Ferreira, Silva e Freire (2003), devido ao ótimo acabamento final, a alvenaria de tijolos de solo-cimento é concebida para ser entregue com a alvenaria aparente, desde que as paredes sejam protegidas por pintura hidrófoba ou outro revestimento impermeabilizante. As composições utilizadas para a etapa de revestimentos estão discriminadas na tabela 14.

Tabela 14 - Custo unitário dos serviços de revestimentos, com proporção de mão de obra e materiais, para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.

Tipo	Código	Descrição	Un.	Valor Unit	Totais			
					M.O	%	MAT	%
Revestimentos								
Revestimento Externo								
C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA	M2	R\$ 8,60	R\$ 5,28	61,40%	R\$ 3,32	38,60%
C. Sinapi	87529	MASSA ÚNICA, PARA RECEBIMENTO DE PINTURA TRAÇO 1:2:8	M2	R\$ 39,42	R\$ 15,42	39,12%	R\$ 24,00	60,88%

Revestimento de áreas molhadas									
C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA	M2	R\$ 8,60	R\$ 5,28	61,40%	R\$ 3,32	38,60%	
C. Sinapi	87528	EMBOÇO, PARA RECEBIMENTO DE CERÂMICA, TRAÇO 1:2:8	M2	R\$ 46,05	R\$ 20,21	43,89%	R\$ 25,84	56,11%	
C. Sinapi	93393	REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PAREDES INTERNAS COM PLACAS TIPO ESMALTADA PADRÃO POPULAR DE DIMENSÕES 20X20 CMPAREDES. AF_06/2014	M2	R\$ 53,14	R\$ 13,52	25,44%	R\$ 39,62	74,56%	

Fonte: Autor (2023)

3.2. Métodos de assentamento

Em seu estudo, Ferreira e Moreno Júnior (2011) analisaram o desempenho do uso de diferentes argamassas de assentamento para ser utilizada em tijolos de solo-cimento. Foi analisada a argamassa de assentamento tradicional, de traço 1:2:8 de cimento/cal/areia, 3 argamassas de solo-cimento, de traço 1:6, 1:8 e 1:10, e o uso de cola PVA em 3, 6 e 9 filetes.

De acordo com De Conti (2011), o adesivo vinílico é um produto sintético, tradicionalmente chamado de “cola branca” ou “cola PVA”, tem diversos usos na área da construção civil. O PVA é um adesivo termoplástico, sendo considerado uma borracha sintética de vida útil longa, devido a sua alta estabilidade química e física. A adesão, principal fenômeno do processo de colagem, se dá por atrações e por ligações químicas, através das chamadas ligações primárias e através de forças secundárias intermoleculares. Estes adesivos são emulsões aquosas que penetram no material aderindo-se e formando filmes flexíveis com alta capacidade de reidratar-se, e normalmente não são utilizadas para colagens que requeiram alta estabilidade dimensional.

Grande (2003) também estudou o uso de cola PVA para assentamento de tijolos de solo-cimento, porém, como aditivo para a argamassa de assentamento, com traço de 1:0,25:3 de cimento/cola PVA/solo.

Segundo a composição de custos unitários SINAPI, os tijolos de solo-cimento são assentados utilizando cola PVA, uma vez que seu formato, com encaixe macho-fêmea, possibilita a utilização de uma simples cola para a ligação dos componentes.

A partir das informações acima, serão comparadas diferentes argamassas, analisando traços e composições das argamassas de assentamento em blocos de concreto, alvenarias cerâmicas e tijolos de solo-cimento.

3.3. Aplicação de revestimentos

Neste tópico serão abordados os métodos de aplicação de revestimentos sugeridos para a alvenaria em tijolos de solo-cimento.

Segundo a NBR 13529 (2013), o chapisco é definido como a camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção, melhorando a aderência do revestimento. Segundo a NBR 13754 (1996), a argamassa para o chapisco deve ter o traço 1:3, composto de Cimento Portland e areia grossa úmida.

Devido à falta de estudos em relação à aderência em tijolos de solo-cimento, foi comparado o uso de chapisco em blocos cerâmicos de alvenaria e também em blocos de concreto, avaliando a resistência à tração de revestimentos aplicados. Esta comparação tem como finalidade fornecer mais informações a respeito das propostas por parte de produtores de tijolos de solo-cimento, que afirmam ser desnecessário o uso do chapisco nos blocos, devido à porosidade do material e a presença de frisos entre os blocos assentados, proporcionando uma melhor ancoragem do revestimento no substrato.

3.4. Implementação de fábrica de tijolos de solo-cimento

De acordo com SEBRAE (2017), o investimento necessário para a implementação de uma fábrica conta com a aquisição de uma betoneira de 600l autocarregável, peneira vibratória, prensas, utensílios para transporte de material (pás, enxadas, carrinhos de mão) e equipamentos para escritório, estimando o valor total sem considerar as áreas de fabricação e cura do material em R\$28 mil. Além disso, a fábrica precisaria de 50% a 70% do investimento total como capital de giro, e um custo total mensal de R\$25,7 mil.

Devido à variação monetária no decorrer dos anos, mesmo com a correção de valores, estes números irão possuir disparidade em relação aos valores atuais, uma vez que alguns equipamentos possuem maior ou menor disponibilidade de compra na

indústria local, assim como a matéria-prima para a fabricação destes equipamentos, podendo gerar uma variabilidade não linear nos custos de produção destas máquinas. Tendo isto em vista, os equipamentos essenciais para a implementação de uma fábrica de tijolos de solo-cimento foram pesquisados nos fornecedores nacionais, para que fossem utilizados valores mais atuais para o custo de aquisição deste maquinário.

Além da pesquisa de preço de equipamentos, foi realizada uma pesquisa de campo com visita à uma empresa já implementada, a fim de obter um melhor entendimento do setor e das etapas de produção.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados e as considerações ainda pendentes em relação ao estudo.

4.1. Estudo Comparativo

No estudo comparativo, foram realizados os orçamentos de uma residência popular padrão caixa do ano de 2006, ocupando uma área total de 52,90 m², incluindo calçadas, uma área construída de 36,84 m² e com 33,54 m² de área útil. As plantas deste imóvel serão disponibilizadas no anexo A.

Na divisão dos serviços a serem realizados, estes serviços foram divididos em 13 etapas: Serviços Preliminares, Fundações, Estruturas, Paredes e painéis, Esquadrias, Cobertura, Instalações elétricas, Instalações Hidráulicas, Instalações Sanitárias, Pisos, Revestimentos e Pintura.

Como as etapas de serviços preliminares, fundações, esquadrias, cobertura, instalações elétricas, hidráulicas e hidrossanitárias, pisos e pintura não sofreram alteração com a variação do método construtivo, os valores individuais de cada etapa uma destas etapas e o custo total está exposto na tabela 15.

Tabela 15 - Custos estimados das etapas não impactadas pela variação de método construtivo.

Item	Tipo	Totais				
		M.O	%	MAT	%	Total
1	Serviços Preliminares	R\$ 1.155,32	46,29%	R\$ 1.340,77	53,71%	R\$ 2.496,09
2	Fundações	R\$ 2.939,62	25,12%	R\$ 8.762,93	74,88%	R\$ 11.702,55
5	Esquadrias	R\$ 1.050,22	17,39%	R\$ 4.989,02	82,61%	R\$ 6.039,24
6	Cobertura	R\$ 997,99	22,96%	R\$ 3.348,74	77,04%	R\$ 4.346,73
7	Instalações elétricas	R\$ 1.595,12	34,73%	R\$ 2.998,12	65,27%	R\$ 4.593,24
8	Instalações hidráulicas	R\$ 684,45	21,04%	R\$ 2.569,09	78,96%	R\$ 3.253,54
9	Instalações sanitárias	R\$ 390,26	19,31%	R\$ 1.630,37	80,69%	R\$ 2.020,63
10	Pisos	R\$ 855,38	21,57%	R\$ 3.110,64	78,43%	R\$ 3.966,02
12	Pintura	R\$ 799,82	29,65%	R\$ 1.897,36	70,35%	R\$ 2.697,18
					Total:	R\$ 41.115,22

Fonte: Autor (2023)

Na ordem dos serviços a serem executados, o item 3 diz respeito à estrutura utilizada em cada um dos métodos estudados. Para o estudo utilizando Blocos

cerâmicos, foi considerada na etapa de estruturas a cinta de amarração e a laje onde ficará a caixa d'água, conforme pode-se observar na tabela 16.

Tabela 16 - Custos estimados dos serviços de estrutura no método construtivo utilizando blocos cerâmicos.

Item	Tipo	Código	Descrição	Un.	Qtd.	Preço Unit	Total
3	Estrutura						R\$ 3.314,66
3.1	Amarração de Paredes						R\$ 2.631,12
3.1.1	C. Sinapi	93204	CINTA DE AMARRAÇÃO DE ALVENARIA MOLDADA IN LOCO EM CONCRETO	M	40,51	R\$ 64,95	R\$ 2.631,12
3.2	Laje						R\$ 683,54
3.2.1	C. Sinapi	101964	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA [...]	M2	3,83	R\$ 178,47	R\$ 683,54

Fonte: Autor (2023)

Analisando esta etapa da execução da obra de forma isolada, a presença dos grautes dos tijolos de solo-cimento eleva os custos quando comparado ao método utilizando blocos cerâmicos, havendo também, para ambos os casos, proporções similares entre a quantidade gasta com mão de obra e a quantidade gasta com material, conforme tabelas apresentadas no item 3.1. A descrição dos serviços utilizados no método construtivo utilizando tijolos de Solo-Cimento está apresentada na tabela 17.

Tabela 17 - Custos estimados dos serviços de estruturas do método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.

Item	Tipo	Código	Descrição	Un.	Qtd.	Preço Unit	Total
3	Estrutura						R\$ 3.722,83
3.1	Pilares/Grautes Verticais						R\$ 1.106,74
3.1.1	C. Sinapi	89993	GRAUTEAMENTO VERTICAL EM ALVENARIA [...]	M3	0,55	R\$ 981,78	R\$ 539,97
3.1.2	C. Sinapi	92802	CORTE E DOBRA DE AÇO CA-50, DIÂMETRO DE 8,0 MM. [...]	KG	39,69	R\$ 14,28	R\$ 566,77
3.2	Vigas / Grautes Horizontais						R\$ 1.932,55
3.2.1	C. Própria	10	CINTA DE AMARRAÇÃO [...] CANALETA SOLO-CIMENTO [...] aço 6,3mm	M	36,76	R\$ 27,42	R\$ 1.007,95
3.2.2	C. Própria	101170	CINTA DE AMARRAÇÃO EM MEIA ALTURA [...] CANALETA SOLO-CIMENTO [...] aço 6,3mm	M	33,72	R\$ 27,42	R\$ 924,60
3.3	Laje						R\$ 683,54
3.3.1	C. Sinapi	101964	LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA FORRO, [...]	M2	3,83	R\$ 178,47	R\$ 683,54

Fonte: Autor (2023)

Após a etapa de estruturas, segue-se então para a etapa de paredes e painéis. No método construtivo utilizando blocos cerâmicos, esta etapa foi dividida entre paredes, vergas e contravergas, conforme demonstra a tabela 18.

Tabela 18 - Custos estimados dos serviços de paredes e painéis no método construtivo utilizando blocos cerâmicos.

Item	Tipo	Código	Descrição	Un.	Qtd.	Preço Unit	Total
4	Paredes e Painéis						R\$ 6.940,82
4.1	Paredes						R\$ 6.082,88
4.1.1	C. Sinapi	103328	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS [...] 9X19X19 CM [...]	M2	77,42	R\$ 78,57	R\$ 6.082,88
4.2	Vergas						R\$ 541,72
4.2.1	C. Sinapi	93184	VERGA PRÉ-MOLDADA PARA PORTAS COM ATÉ 1,5 M DE VÃO.	M	6,00	R\$ 36,51	R\$ 219,06
4.2.2	C. Sinapi	93182	VERGA PRÉ-MOLDADA PARA JANELAS COM ATÉ 1,5 M DE VÃO.	M	6,50	R\$ 49,64	R\$ 322,66
4.3	Contravergas						R\$ 316,22
4.3.1	C. Sinapi	93194	CONTRAVERGA PRÉ-MOLDADA PARA VÃOS DE ATÉ 1,5 M DE COMPRIMENTO.	M	6,50	R\$ 48,65	R\$ 316,22

Fonte: Autor (2023)

Comparando ambas as composições, podemos observar na tabela 19 que a composição utilizando o solo-cimento teve um custo bem acima do método utilizando blocos cerâmicos, porém, como foi abordado no capítulo anterior, menos de 20% desse valor diz respeito à mão de obra, e aproximadamente 80% deste valor tem dependência direta com o custo do bloco de solo-cimento.

Tabela 19 - Custos estimados dos serviços de paredes e painéis no método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.

Item	Tipo	Código	Descrição	Un.	Qtd.	Preço Unit	Total
4	Paredes e Painéis						R\$ 12.704,92
4.1	Paredes						R\$ 12.212,97
4.1.1	C. Própria	101160	ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCO DE SOLO-CIMENTO [...]	M2	84,83	R\$ 143,97	R\$ 12.212,97
4.2	Vergas						R\$ 443,41
4.2.1	C. Própria	101163	VERGA MOLDADA IN LOCO COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA [...]	M	6,00	R\$ 40,47	R\$ 242,82

4.2.2	C. Própria	101161	VERGA MOLDADA IN LOCO COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA [...]	M	6,50	R\$ 30,86	R\$ 200,59
4.3	Contravergas						R\$ 48,54
4.3.1	C. Própria	101165	CONTRAVERGA MOLDADA IN LOCO COM UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CANALETA [...]	M	2,00	R\$ 24,27	R\$ 48,54

Fonte: Autor (2023)

Por último, foram comparadas as composições montadas para a etapa de revestimento, como foi explicado no capítulo anterior, é comum que fabricantes e usuários destes tijolos afirmem não ser necessário o uso de chapisco para a aplicação de massa ou assentamento de porcelanato, porém, nesta composição foi considerado o uso do chapisco nas áreas onde seriam aplicados revestimentos, a fim de que houvesse uma melhor aderência do material à parede. Já para as alvenarias cerâmicas, estudos comprovam a necessidade do uso do chapisco nestes tipos de tijolos, sendo, então, adotado nas composições deste método.

Tabela 20 - Custos estimados dos serviços de revestimentos no método construtivo utilizando blocos cerâmicos.

Item	Tipo	Código	Descrição	Un.	Qty.	Preço Unit	Total
11	Revestimentos						R\$ 8.969,89
11.1	Revestimento de áreas molhadas						R\$ 548,64
11.1.1	C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA [...]	M2	5,09	R\$ 8,60	R\$ 43,77
11.1.2	C. Sinapi	87528	EMBOÇO, PARA RECEBIMENTO DE CERÂMICA, EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 [...]	M2	5,09	R\$ 46,05	R\$ 234,39
11.1.3	C. Sinapi	93393	REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PAREDES INTERNAS COM PLACAS TIPO ESMALTADA [...]	M2	5,09	R\$ 53,14	R\$ 270,48
11.2	Revestimento Interno						R\$ 5.296,60
11.2.1	C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA [...]	M2	110,30	R\$ 8,60	R\$ 948,58
11.2.2	C. Sinapi	87529	MASSA ÚNICA, PARA RECEBIMENTO DE PINTURA, EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 [...]	M2	110,30	R\$ 39,42	R\$ 4.348,02
11.3	Revestimento externo						R\$ 3.124,65
11.3.1	C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA [...]	M2	65,07	R\$ 8,60	R\$ 559,60
11.3.2	C. Sinapi	87529	MASSA ÚNICA, PARA RECEBIMENTO DE PINTURA, EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 [...]	M2	65,07	R\$ 39,42	R\$ 2.565,05

Fonte: Autor (2023)

Comparando os dados das tabelas 20 e 21, é possível observar uma diferença expressiva entre os custos para cada método. Esta diferença pode ser explicada pelo

fato de o revestimento interno de áreas não-úmidas do método com solo-cimento ser substituído por uma pintura impermeabilizante, conforme sugestão dos fabricantes devido a regularidade da parede possibilitar o uso do tijolo de forma aparente, enquanto no método com blocos cerâmicos, este item corresponde a mais de 50% do valor desta etapa.

Tabela 21 - Custos estimados dos serviços de revestimentos no método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.

Item	Tipo	Código	Descrição	Un.	Qtd.	Preço Unit	Total
11	Revestimentos						R\$ 3.673,29
11.2	Revestimento externo						R\$ 3.124,65
11.2.1	C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA [...]TRAÇO 1:3	M2	65,07	R\$ 8,60	R\$ 559,60
11.2.2	C. Sinapi	87529	MASSA ÚNICA, PARA RECEBIMENTO DE PINTURA, EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 [...]	M2	65,07	R\$ 39,42	R\$ 2.565,05
11.3	Revestimento de áreas molhadas						R\$ 548,64
11.3.1	C. Sinapi	87905	CHAPISCO APLICADO EM ALVENARIA [...]TRAÇO 1:3	M2	5,09	R\$ 8,60	R\$ 43,77
11.3.2	C. Sinapi	87528	EMBOÇO, PARA RECEBIMENTO DE CERÂMICA, EM ARGAMASSA TRAÇO 1:2:8 [...]	M2	5,09	R\$ 46,05	R\$ 234,39
11.3.3	C. Sinapi	93393	REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PAREDES INTERNAS [...] 20X20 CM	M2	5,09	R\$ 53,14	R\$ 270,48

Fonte: Autor (2023)

Além da comparação direta entre as composições de serviços a serem executados, também foi realizada uma curva ABC dos serviços e dos insumos necessários. Segundo Dias (2015), a Curva ABC é um método de classificação onde os materiais são classificados de acordo com as teorias econômicas de Pareto, considerando a importância de cada material de acordo com a quantidade utilizada e o seu valor. Também conhecida como a teoria do 80/20, esta prevê que 80% dos efeitos surgem a partir de 20% das causas, onde, aplicada à orçamento, temos que 80% do preço da obra está concentrado em 20% dos serviços ou insumos. Nas classificações, a classificação A representa os itens que correspondem a 50% dos custos totais, a classificação B para 80% dos custos totais, e a C para o custo dos 20% restantes do orçamento. Nas tabelas 22 e 23 são exibidos os 5 primeiros insumos da curva ABC para cada método proposto, considerados os mais impactantes no preço da obra, que correspondem a aproximadamente 30% do preço da obra.

Tabela 22 – Itens mais impactantes da curva ABC de insumos para o método construtivo utilizando blocos cerâmicos.

Cód	Base	Descrição	Un	Qtd.	Total	%	% Acumulado	Classe
4750	Sinapi	PEDREIRO (HORISTA)	H	294,2359	R\$ 5.546,34	9,18%	9,18%	A
6111	Sinapi	SERVENTE DE OBRAS	H	299,983	R\$ 4.256,75	7,05%	16,23%	A
1379	Sinapi	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	4687,229	R\$ 3.281,06	5,43%	21,67%	A
33	Sinapi	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	213,7892	R\$ 2.665,95	4,41%	26,08%	A
37370	Sinapi	ALIMENTACAO - HORISTA (COLETADO CAIXA - ENCARGOS COMPLEMENTARES)	H	1030,345	R\$ 2.349,18	3,89%	29,97%	A

Fonte: Autor (2023)

Como podemos ver na tabela 22, os custos com pedreiro e servente no método utilizando blocos cerâmicos são os de maior impacto, seguido do cimento e aço. Estes 4 insumos correspondem a pouco mais de 25% do custo total da obra, onde uma busca de melhores preços para estes itens pode causar numa maior redução no valor final da obra.

Tabela 23 – Itens mais impactantes da curva ABC de insumos para o método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento.

Cód	Base	Descrição	Un	Qtd	Total	%	% Acumulado	Classe
1	Base Própria	TIJOLO SOLO-CIMENTO, 25 X 12,5 X 7 CM	UN	4605,421	R\$ 6.908,13	11,25%	11,25%	A
4750	Sinapi	PEDREIRO (HORISTA)	H	181,9215	R\$ 3.429,21	5,59%	16,84%	A
6111	Sinapi	SERVENTE DE OBRAS	H	202,8413	R\$ 2.878,31	4,69%	21,53%	A
33	Sinapi	ACO CA-50, 8,0 MM, VERGALHAO	KG	222,3219	R\$ 2.772,35	4,52%	26,05%	A
1379	Sinapi	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO CP II-32	KG	3888,276	R\$ 2.721,79	4,43%	30,48%	A

Fonte: Autor (2023)

Na tabela 23 podemos observar que o insumo de maior impacto é o tijolo, com seu valor impactando em aproximadamente 12% do valor total da obra, seguido por Pedreiro e Servente de obras, que mesmo permanecendo como insumo de grande impacto, teve sua quantidade reduzida em aproximadamente 40% quando comparada ao método usando blocos cerâmicos.

Na curva ABC de classificação dos serviços, os serviços de execução de alvenaria foram os de maior impacto, sendo de 12% para o método com blocos

cerâmicos e 21% para o método usando solo-cimento. Além deste, a aplicação de massa única, armação de bloco e aplicação de pintura estiveram presentes entre os 5 itens de maior impacto para ambas as situações.

Analisando os coeficientes de pedreiro e servente em cada um dos serviços de execução de alvenaria, é possível observar uma razão de aproximadamente 1,74 entre a execução com blocos cerâmicos e a execução de alvenaria em solo-cimento, o que implica que a execução de alvenaria em solo-cimento possui uma produtividade 74% mais alta que a alvenaria com blocos cerâmicos, e para a construção estudada, utilizando uma equipe básica de um pedreiro e dois serventes, esta mesma equipe necessitaria de 16 dias para executar o serviço em alvenaria com blocos cerâmicos, enquanto para executar o serviço em alvenaria de tijolos de solo-cimento seriam necessários aproximadamente 10 dias.

Nos custos totais de construção, o método utilizando blocos cerâmicos obteve o menor custo, porém muito próximo do custo de construção utilizando o método utilizando alvenaria de tijolos de solo-cimento. Conforme citado acima, o preço do tijolo de solo-cimento teve grande influência no valor final da obra. Os valores totais de cada método estão indicados nas tabelas 24 e 25.

Tabela 24 – Custo total de construção no método utilizando blocos cerâmicos.

Blocos cerâmicos						
Item	Etapa	Totais				
		M.O	%	MAT	%	Total
1	Serviços Preliminares	R\$ 1.155,32	46,29%	R\$ 1.340,77	53,71%	R\$ 2.496,09
2	Fundações	R\$ 2.939,62	25,12%	R\$ 8.762,93	74,88%	R\$ 11.702,55
3	Estrutura	R\$ 728,98	21,99%	R\$ 2.585,68	78,01%	R\$ 3.314,66
4	Paredes e Painéis	R\$ 3.525,34	50,79%	R\$ 3.415,48	49,21%	R\$ 6.940,82
5	Esquadrias	R\$ 1.050,22	17,39%	R\$ 4.989,02	82,61%	R\$ 6.039,24
6	Cobertura	R\$ 997,99	22,96%	R\$ 3.348,74	77,04%	R\$ 4.346,73
7	Instalações elétricas	R\$ 1.595,12	34,73%	R\$ 2.998,12	65,27%	R\$ 4.593,24
8	Instalações hidráulicas	R\$ 684,45	21,04%	R\$ 2.569,09	78,96%	R\$ 3.253,54
9	Instalações sanitárias	R\$ 390,26	19,31%	R\$ 1.630,37	80,69%	R\$ 2.020,63
10	Pisos	R\$ 855,38	21,57%	R\$ 3.110,64	78,43%	R\$ 3.966,02
11	Revestimentos	R\$ 3.829,12	42,69%	R\$ 5.140,77	57,31%	R\$ 8.969,89
12	Pintura	R\$ 799,82	29,65%	R\$ 1.897,36	70,35%	R\$ 2.697,18
Totais		R\$ 18.551,62	30,74%	R\$ 41.788,97	69,26%	R\$ 60.340,59

Fonte: Autor (2023)

Tabela 25 – Custo total de construção no método utilizando tijolos de solo-cimento

Alvenaria de Tijolos de Solo-Cimento						
Item	Etapa	Totais				
		M.O	%	MAT	%	Total
1	Serviços Preliminares	R\$ 1.155,32	46,29%	R\$ 1.340,77	53,71%	R\$ 2.496,09
2	Fundações	R\$ 2.939,62	25,12%	R\$ 8.762,93	74,88%	R\$ 11.702,55
3	Estrutura	R\$ 795,53	21,37%	R\$ 2.927,30	78,63%	R\$ 3.722,83
4	Paredes e Painéis	R\$ 2.164,31	17,04%	R\$ 10.540,61	82,96%	R\$ 12.704,92
5	Esquadrias	R\$ 1.050,22	17,39%	R\$ 4.989,02	82,61%	R\$ 6.039,24
6	Cobertura	R\$ 997,99	22,96%	R\$ 3.348,74	77,04%	R\$ 4.346,73
7	Instalações elétricas	R\$ 1.595,12	34,73%	R\$ 2.998,12	65,27%	R\$ 4.593,24
8	Instalações hidráulicas	R\$ 684,45	21,04%	R\$ 2.569,09	78,96%	R\$ 3.253,54
9	Instalações sanitárias	R\$ 390,26	19,31%	R\$ 1.630,37	80,69%	R\$ 2.020,63
10	Pisos	R\$ 855,38	21,57%	R\$ 3.110,64	78,43%	R\$ 3.966,02
11	Revestimentos	R\$ 1.545,66	42,08%	R\$ 2.127,63	57,92%	R\$ 3.673,29
12	Pintura	R\$ 799,82	29,65%	R\$ 1.897,36	70,35%	R\$ 2.697,18
Totais		R\$ 14.973,68	24,46%	R\$ 46.242,58	75,54%	R\$ 61.216,26

Fonte: Autor (2023)

4.2. Métodos de assentamento

Por não haver muitos estudos nesta área, algumas práticas caseiras ainda são comuns para o uso como argamassa de assentamento.

Em Ferreira e Moreno (2011), estudou-se 4 traços de argamassas utilizando o cimento CP II E 32 e o uso puro da cola PVA em diferentes quantidades. Foi utilizada a argamassa tradicional de traço 1:2:9 de cimento/cal/areia e 3 traços de argamassa de assentamento de solo-cimento, com proporções de 1:6, 1:8 e 1:10. A cola PVA foi utilizada em três, seis e nove filetes, a fim de verificar a influência da quantidade de cola na execução dos prismas. Os resultados obtidos neste estudo estão disponíveis na tabela 26.

Tabela 26 - Apresentação dos resultados obtidos nos experimentos de argamassas de assentamento.

Resistências	Resultados em função dos traços das argamassas e quantidade de cola						
	1:2:9	1:6	1:8	1:10	1 filete	2 filetes	3 filetes
Resistência à compressão aos 7 dias (MPa)	1,75	1,96	1,90	1,76	2,60	2,70	2,70
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	2,01	2,13	2,05	1,83	2,70	2,73	2,80
Resistência de aderência na flexão aos 7 dias (MPa)	0,08	0,06	0,05	0,04	0,08	0,12	0,18
Resistência de aderência na flexão aos 28 dias (MPa)	0,08	0,07	0,05	0,04	0,08	0,13	0,18

Fonte: Adaptado de Ferreira e Moreno Júnior (2011)

Neste estudo observou-se que, entre as argamassas, que a de solo-cimento com traço 1:6 foi a que obteve melhores resultados, porém nas amostras onde foram utilizadas apenas a cola PVA observou-se uma melhor resistência à compressão e aderência à flexão quando comparada aos outros materiais de assentamento utilizados.

Já em Grande (2003), o uso da cola PVA foi utilizado como aditivo da argamassa, com traço de 1:0,25:3 com cimento / cola PVA / solo, também obtendo bons resultados nos ensaios de prisma, conforme foi demonstrado na tabela 6. A aplicação da argamassa pode ser feita usando uma bisnaga, aplicando filetes que podem variar entre 10 e 20 mm de espessura. A aplicação de argamassa proposta está exemplificada na figura 11.

Figura 11 - Exemplo de aplicação de argamassa de assentamento em tijolos de solo-cimento.



Fonte: Grande (2003)

De acordo com a NBR 8545 (1984) no item 4.5.6, a argamassa de assentamento para alvenarias em paredes que possam ter contato com a umidade devem ser impermeáveis e insolúveis em água. Apesar de não haver muitas informações a respeito do uso da cola PVA para assentamento, de acordo com o fabricante Rhodopás, a cola PVA é um adesivo em emulsão aquosa à base de polímero de acetato de polivinila, que tem como principal característica um longo tempo de secagem e baixa resistência à água, logo, não é recomendado o uso da cola PVA como único material de assentamento até que sejam realizados estudos específicos a respeito deste uso confirmando o cumprimento da norma citada neste parágrafo.

4.3. Aplicação de Revestimentos

De acordo com Scartezini e Carasek (2003), o tipo do substrato é o maior responsável pela variação na resistência à aderência, onde blocos de concreto proporcionam resistência superior em relação aos blocos cerâmicos devido, principalmente, à rugosidade superficial do substrato. Enquanto o bloco cerâmico apresenta uma superfície mais densa, compacta e lisa, o bloco de concreto apresenta uma maior rugosidade superficial, o que favorece que a argamassa tenha uma melhor penetração na superfície para que ocorra a ancoragem.

A NBR 7200 (1998) especifica que a aplicação prévia da argamassa de chapisco deverá ser feita quando a superfície a revestir for de pouca aderência, de baixa absorção, ou quando a base não apresentar rugosidade superficial. A argamassa de chapisco deve ser aplicada com consistência fluida, assegurando uma maior facilidade de penetração da pasta de cimento na base a ser revestida, e melhorando a aderência na interface revestimento-base.

Segundo Carvalho *et al.* (2017), é significativa a influência do tipo de bloco em relação à presença de ranhuras na superfície, uma vez que a presença de ranhuras aumenta a área disponível para contato com a argamassa de chapisco. Outro fator de influência no incremento de resistência à tração é o uso de areia mais grossa na argamassa de chapisco, que neste estudo obteve valores mais altos em comparação ao uso da areia média, porém não muito significativos. Entretanto, apesar de não ter

sido o foco do estudo, os autores ressaltam a possibilidade de a porosidade dos blocos influenciarem nos resultados de aderência obtidos.

Em Neves e Costa e Silva (2019) foi utilizado o revestimento em gesso, onde foi observado que a diferença de substrato entre os blocos cerâmicos e os blocos de concreto exercem grande influência na ancoragem do revestimento. Foi constatado neste trabalho que não houve diferenças significativas na ancoragem do revestimento quando comparados blocos de concreto estruturais e de vedação, porém, ao comparar a ancoragem entre blocos cerâmicos estruturais e de vedação, houve uma diminuição da resistência de aderência quando utilizados blocos estruturais.

4.4. Implementação de Fábrica de Tijolos de Solo-Cimento

Em Sebrae (2017), a área pra fabricação de tijolos de solo-cimento abrange uma grande área, sendo considerados 600 m² de área útil para toda a produção, incluindo área de recepção e armazenagem de matéria-prima, área para produção dos tijolos, área para cura e também área para estoque dos produtos acabados. Além da área para cada etapa da produção, também é necessária uma boa organização de logística para o acesso dos veículos que trarão a matéria-prima para produção e também para a retirada do produto finalizado.

Para este trabalho, foi visitada a empresa EcoBricks, localizada na cidade de Triunfo – PE, pertencente ao arquiteto Felipe Nogueira, que forneceu as informações disponibilizadas neste capítulo através de uma entrevista durante a visita. Esta empresa, ainda com porte pequeno e em fase de implementação, tem uma produção diária estimada de 750 tijolos por dia, alcançando picos de 900 tijolos diários. A mão de obra empregada nesta fábrica é de 3 funcionários para as etapas de produção, além do proprietário que se encarrega das funções de compra de materiais e venda do produto final.

Para este empreendimento, iniciado em 2022, foi aproveitado um terreno particular, onde foi construído um galpão de madeira, coberto com telhas de fibrocimento, com dimensões de 8 x 16 metros, totalizando uma área de 128 m² para o estoque do produto finalizado, um anexo com dimensões de 2,5 x 16 metros destinados à produção dos tijolos, medindo 40m², e foi feito um piso para nivelamento de toda esta área coberta, além da construção de um banheiro. Segundo o

proprietário, o custo inicial do empreendimento, contando com a área coberta, o piso, banheiro e infraestrutura elétrica e hidráulica totalizou um custo de aproximadamente R\$ 52.000,00.

Além do custo de infraestrutura do local, também foi investido cerca de R\$ 33.000,00 para aquisição de um triturador de solos, uma prensa semiautomática e uma esteira de transporte de materiais. Além desses materiais, na fabricação dos tijolos também é utilizada uma betoneira de 400 litros de capacidade que o proprietário já possuía, que possui um custo aproximado entre R\$ 4.500,00 a R\$ 5.500,00, e também são utilizadas ferramentas tradicionais, como carrinhos de mão, enxadas e pás, onde podemos especular um valor próximo de R\$1.000,00 para aquisição destes materiais. No total, o investimento inicial estimado para a aquisição de maquinário e infraestrutura da empresa EcoBricks gira em torno de R\$ 91.000,00.

Porém, além dos custos iniciais, há também custos para a produção dos tijolos, que conta com custo de energia elétrica, consumo de água, salário de funcionários e aquisição de matérias-primas para a produção. O custo mensal com funcionários informado pelo proprietário foi de R\$ 5.280,00, além do custo de R\$ 120,00 para a concessionária fornecedora de água, e R\$ 220,00 para a concessionária fornecedora de energia elétrica.

Para a produção dos tijolos, é utilizado o cimento CP V, onde são produzidos aproximadamente 120 tijolos com um saco de 40kg, e cada saco de cimento custa R\$ 39,00. O solo é comprado em caçambas de 7m³, a um custo de R\$ 365,00 por caçamba, e é peneirado para remoção de materiais maiores que os especificados na NBR 10833 (2012). Com o material obtido em uma caçamba de solo, são produzidos aproximadamente 3 mil tijolos, sendo necessários 25 sacos de cimento para esta produção.

Com uma produção constante, considerando que 2022 terá uma média de 21 dias úteis no mês, teremos uma produção média mensal de 15.750 tijolos, e um custo de produção de R\$ 12.415,00, sendo consideradas as despesas com fornecimento de água, energia, salário de funcionários e custo da matéria-prima necessária, e o milheiro de tijolo é vendido a R\$ 1.100,00. A partir dos valores obtidos, e desconsiderando a perda de tijolos, que não foi informada pelo proprietário, podemos

estimar que o retorno do capital investido neste empreendimento ocorrerá após aproximadamente 19 meses, considerando uma produção e venda constantes.

Os equipamentos necessários para a instalação de uma fábrica, conforme citado no capítulo anterior, são uma betoneira de 600l autocarregável, peneira vibratória, prensas e utensílios para transporte de material (pás, enxadadas, carrinhos de mão). Porém, pesquisando no mercado nacional a disponibilidade e preço dos maquinários, alguns fabricantes de prensas para produção de tijolos de solo-cimento sugerem alterações na lista de maquinários necessários para esta finalidade, de acordo com o porte desejado para a fábrica.

Como citado anteriormente neste trabalho, o processo de fabricação se inicia com o preparo da matéria prima. O preparo da matéria-prima consiste no peneiramento e destorroamento do solo, para que este se adeque às especificações da NBR 10833 (2012), e, dependendo do porte da fábrica, pode ser considerado um dos gargalos para produção de tijolos, haja vista que o solo é a matéria-prima usada em maior quantidade para a produção.

Para o peneiramento, pode-se utilizar peneiras manuais em fábricas com pequenas produções, ou peneiras automatizadas quando há uma maior demanda de material para ser peneirado, sendo os modelos mais comuns os de peneiramento por vibração ou rotativo. O custo com a aquisição de peneiras automáticas pode variar de acordo com o modelo e o fabricante, a exemplo da peneira elétrica rotativa vendida pela empresa Verde Equipamentos, com custo de R\$ 7.120,00, e da peneira 24R, vendida pela empresa Eco Máquinas, com custo de R\$ 9.800,00, podendo peneirar até 6m³ de solo por hora.

O destorroamento do solo é feito através dos chamados trituradores de solo, que tem funciona quebrando os torrões de solo para que haja uma melhor homogeneização do material, sendo aconselhado também ser utilizada após a mistura e umidificação do solo com o cimento. A empresa Eco Máquinas fornece três tipos de trituradores, com capacidades entre 1m³ e 3,5 m³, com o preço que varia entre R\$ 6.771,00 e R\$ 10.448,00. A empresa Verde Equipamentos fornece um único triturador, a um preço de R\$ 8.153,00, sem produtividade informada, e a empresa Jarfel / Sahara

Equipamentos fornece o triturador de solo JAG 2500 a um preço de R\$ 7.000,00, também sem produtividade informada.

É comum que, logo na recepção do solo no processo fabril, este seja totalmente preparado e estocado pronto para a utilização, principalmente em pequenas fábricas onde a linha de produção utilize a mesma máquina para diferentes etapas do processo.

Após o preparo da matéria-prima, o material segue para a mistura, que pode ser realizada manualmente, através do revolvimento da mistura utilizando pás e enxadas, com o uso de betoneira, ou utilizando misturadores próprios para esta finalidade. É válido ressaltar que a mistura do solo deve ser feita de acordo com a capacidade de produção da prensa de compactação, uma vez que o cimento depois de misturado ao solo e umedecido inicia o processo de pega e endurecimento, além de que o material deverá ser compactado no ponto de umidade ótima para que obtenha maior resistência mecânica.

Na linha de betoneiras, a de maior volume encontrada mais facilmente em lojas de material de construção tem capacidade para 400 litros de mistura, com valores entre R\$ 4.500,00 e R\$ 5.500,00. Na linha de misturadores, a empresa Qualymaquina produz misturadores com capacidade para 600 litros por R\$ 43.200,00, e também na empresa Jarfel / Sahara equipamentos, que produz misturadores planetários com capacidade entre 300 e 1200 litros, e valores entre R\$ 50.000,00 e R\$ 200.000,00.

Há também a possibilidade de compra de máquinas desenvolvidas propriamente para a produção de tijolos de solo-cimento, como a empresa Eco Máquinas, que fornece o misturador Eco Mix com triturador acoplado, sistema de molha automática e capacidade de 400 litros por R\$ 54.058,00. Já a empresa Verde Equipamentos dispõe da linha de processadores Titã, com triturador embutido dentro do tambor de mistura, capacidade de mistura de material necessário para produzir entre 300 e 750 tijolos por hora, e um preço que varia entre R\$ 64.900,00 e R\$ 98.900,00.

Sendo feita a homogeneização, o material passa para etapa de compactação em tijolos, que pode ser feito através de máquinas manuais, semiautomáticas ou automáticas. Todas as máquinas citadas a seguir podem ser encontradas nas

empresas Eco Máquinas, Verde Equipamentos e Jarfel / Sahara Equipamentos. As máquinas manuais possuem baixa produtividade, uma vez que a compactação é realizada através de um sistema de alavancas manuais, além de baixa ergonomia devido aos movimentos repetitivos, e a produtividade informada está entre 50 e 150 tijolos por hora, com um custo que pode variar entre R\$ 8.000,00 e R\$ 14.300,00.

As máquinas semiautomáticas possuem compactação através do uso de pistão hidráulico, porém há a necessidade de um operador para preenchimento da câmara de compactação e ativação do comando de compactação, com produtividade média entre 150 e 350 tijolos por hora, e custos que podem variar entre R\$ 19.800 e R\$65.000,00. Já as máquinas totalmente automáticas necessitam de operador apenas para remoção do tijolo, podendo possuir dupla ação de compactação, necessária para produção de tijolos ou blocos de altura entre 8cm e 20 cm, e produtividade média entre 450 e 550 blocos por hora, com custos que variam entre R\$89.500,00 e R\$135.000,00.

Após a remoção do bloco prensado, estes devem ser acomodados em um local à sombra, podendo ser empilhados sobre uma superfície plana e lisa até uma altura máxima de 1,5m, mantendo-os úmidos durante os primeiros 7 dias, conforme especificado na NBR 10833 (2012). Esta acomodação pode ser feita diretamente em pallets de madeira com boa qualidade, desde que seja colocada uma base plana e lisa sobre eles, comportando até 750 tijolos com dimensões 12,5 x 25 x 7 cm em cada pallet do modelo PBR1, modelo mais utilizado no Brasil, podendo também plastificar o lote de tijolos após os 7 dias de cura para que haja uma melhor segurança caso seja utilizado uma empilhadeira ou uma paleteira para transporte.

Além dos equipamentos citados acima, em indústrias de maior porte é necessária a aquisição de esteiras de transporte de materiais, haja vista que o transporte de materiais em carros de mão ou baldes demanda uma maior mão de obra e/ou uma menor produtividade da produção. Estas esteiras podem ser encontradas em diferentes setores industriais, com comprimentos variáveis e ganhos de altitude reguláveis, com preços que podem variar entre R\$ 7.563,00 e R\$ 50.000,00.

Conforme o porte escolhido para a implementação da fábrica, o custo de aquisição de maquinários pode sofrer grandes variações, onde, para uma fábrica de

pequeno porte, pode-se adquirir os considerados “equipamentos básicos” para implementação de uma produção, tratando-se de uma betoneira, um triturador e uma prensa semiautomática, realizando o peneiramento e transporte de forma manual, totalizando um investimento aproximado de R\$ 35.000,00 e obtendo uma produção estimada em 150 tijolos por hora, enquanto para uma fábrica de grande porte são necessárias 2 esteiras, um triturador, uma peneira elétrica, um misturador de grande porte, e uma prensa automática, com um investimento que supera R\$ 187.000,00, e produção média de 550 tijolos por hora.

Ainda conforme especificado em Sebrae (2006), é estimado o emprego de quatro funcionários para a produção dos tijolos, um na área administrativa, um na área comercial para venda do produto, além da presença do empresário em tempo integral.

Segundo indicações de fornecedores, foram indicadas as configurações de máquinas para que se obtivesse uma melhor produtividade com menor quantidade de mão de obra. A empresa Verde Equipamentos, por exemplo, recomenda a aquisição de 2 esteiras de transporte, um processador Super Titã, e uma prensa automática, que totalizam um valor de R\$ 278.150,00, com produtividade entre 500 e 600 tijolos por hora, totalizando aproximadamente 92 milheiros mensais e necessidade de 3 funcionários trabalhando na linha de produção. Outra sugestão apresentada foi através da empresa Eco Máquinas, com composição semelhante à apresentada anteriormente, contando com duas esteiras, um misturador Eco Mix, e uma prensa hidráulica Premium, totalizando um investimento de R\$ 166.136,00, com uma produtividade estimada entre 450 e 550 tijolos por hora, totalizando aproximadamente 84 milheiros mensais, também utilizando-se de 3 funcionários para a produção.

De acordo com Shinomiya *et al.* (2016), no ano da sua publicação, uma indústria cerâmica com capacidade para até 110 milheiros mensais do tijolo de 6 furos com dimensões de 9 x 14 x 19 cm necessitaria de um investimento inicial de R\$ 263.000,00 para aquisição de equipamentos, não sendo inclusos neste valor a construção de galpões e fornos.

CAPÍTULO 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES DE NOVAS PESQUISAS

A produção deste trabalho buscou contribuir na organização dos conhecimentos a respeito do método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento, trazendo informações sobre boas práticas para produção e construção utilizando este tipo de alvenaria. Além disso, este trabalho também busca trazer visibilidade para este tema, incentivando novos estudos a fim de contribuir para a evolução da construção civil e do desenvolvimento de novos materiais de construção.

Conforme exposto inicialmente, os objetivos desta pesquisa tiveram como foco a comparação do método construtivo utilizando tijolos modulares de solo-cimento com um método construtivo amplamente utilizado, utilizando alvenaria de vedação em blocos cerâmicos, com a finalidade de sugerir o método utilizando tijolos de solo-cimento como uma alternativa segura e de baixo custo para construções de pequeno porte, além de prometer um menor impacto ambiental.

A partir das informações apresentadas neste trabalho, podemos considerar os seguintes aspectos como pontos positivos da execução de paredes utilizando tijolos de solo-cimento:

- Por ser modular, a execução da alvenaria de tijolos de solo-cimento é de fácil assimilação por mão de obra não especializada, e promete também uma maior agilidade construtiva, além de demandar um menor uso de argamassa de assentamento;
- Devido suas características, os painéis de alvenaria em solo-cimento possuem um ótimo acabamento final para ser utilizado de forma aparente, dispensando a argamassa de revestimento, ou utilizando finas camadas de revestimento quando optado por revesti-los;
- Por possuírem furos verticais, os tijolos de solo-cimento prometem uma maior agilidade na execução de instalações elétricas e hidráulicas, possibilitando também o uso desses furos para implementação de reforços estruturais através dos grautes;

Também pode-se apontar como desvantagem os seguintes pontos:

- Devido à baixa disponibilidade desta alvenaria no mercado, o seu custo tende a ser mais alto quando comparado à outras alvenarias tradicionalmente utilizadas;
- Além da baixa disponibilidade, o fato de utilizar cimento na sua matéria-prima tende a tornar mais caro o produto final, ficando sujeita a oscilações de preço conforme a disponibilidade de cimento na região;
- Devido ao baixo número de estudos sobre esta alvenaria, a sua aplicabilidade é limitada ao uso como vedação.

A partir das demais informações apresentadas neste estudo, pode-se concluir também que:

- O revestimento com argamassa sem prévio preparo do substrato não é recomendado, uma vez que não há estudos suficientes comprovando a eficiência da ancoragem na superfície dos tijolos de solo-cimento;
- O uso de cimento CP-V ARI na produção de tijolos de solo-cimento é recomendado, especialmente quando utilizados solos com maior quantidade de argilominerais, visando uma melhor resistência e um menor intervalo entre a confecção e a utilização dos tijolos;
- Conforme dados do experimento de Ferreira e Moreno (2011), a utilização de argamassa de solo-cimento para assentamento pode substituir o uso de argamassa de assentamento tradicional, e segundo Grande (2003), há a possibilidade da adição da cola PVA nesta argamassa, porém o uso apenas da cola PVA não é recomendado para o assentamento dos tijolos;
- O custo inicial para criação de uma fábrica de tijolos de solo-cimento é relativamente baixo, uma vez que é necessário apenas a obtenção das máquinas e a construção de áreas cobertas para produção e cura, podendo iniciar com pequenas produções e expandir para produções maiores conforme a demanda do mercado.

Tendo em vista as vantagens do método construtivo utilizando tijolos de solo-cimento, este tema necessita de mais estudos para aprofundamento das informações necessárias para que se tenha mais segurança de uso e elaboração de projetos. Como sugestão para novas pesquisas, posso destacar:

- Avaliar a ancoragem de revestimentos em painéis elaborados com tijolos de solo-cimento, afim de analisar a aderência com e sem o preparo do substrato;
- Estudar o comportamento estrutural das vigas produzidas em tijolos canaletas utilizados nesta tecnologia;
- Aprofundar os estudos de materiais para assentamento de tijolos, analisando também a influência da cola PVA como aditivo para a argamassa de assentamento.

REFERÊNCIAS

ABIKO, Alex K. **Tecnologias Apropriadas: Tijolos e paredes monolíticas de solo-cimento**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1973.

ALVENARIA. **MICHAELIS, Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa**, 2023. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/palavra/XX8e/alvenaria/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais**. ABCP. São Paulo, p. 16. 2000. (BT - 111).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13754: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento**. Rio de Janeiro. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873: Coordenação modular para edificações**. Rio de Janeiro. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10833: Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica — Procedimento**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10834: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Requisitos**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12023: Solo-cimento — Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025: Solo-cimento — Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos — Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253: Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491: Tijolo de solo-cimento — Requisitos**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia**. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos**. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos**. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16868-1: Alvenaria estrutural - Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro. 2020.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 1**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção 2**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

BORJA, Rômulo Thomaz de Figueiredo. **COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE PILARES ARMADOS E NÃO ARMADOS, CONSTRUÍDOS COM BLOCOS DE TERRA COMPACTADOS**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2019.

CAMACHO, Jefferson Sidney. **PROJETO DE EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Ilha Solteira. 2006.

CAMPOS, Alessandro; BRITO, Larissa Tessari; NASCIMENTO JUNIOR, João Batista do. Comportamento estrutural de tijolos de solo-cimento utilizando diferentes fontes de água e métodos de cura. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, MS, 2019. 283–296.

CAPUTO, Homero P. **Mecânica dos solos e suas aplicações - Fundamentos**. Rio de Janeiro : LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1988.

CARVALHO, DENIZARD PAULO *et al.* **Análise da Interface entre Blocos Cerâmicos e Argamassas de Chapisco**. XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. São Paulo. 2017.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. **Alvenaria Estrutural**. São Luis: UEMA, 1998.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. **PLANEJAMENTO E CONTROLE DE CUSTOS NAS EDIFICAÇÕES**. UEMA. São Luís. 2006.

DE CONTI, Andrea Cressoni. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de Eucalyptus sp.** Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. Guaratinguetá. 2011.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de Custos: Estimativa de Custo de Obras e Serviços de Engenharia**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: IBEC - Instituto Brasileiro de Engenharia de Custos, 2015.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 143/2010-ES - Pavimentação – Base de solo-cimento - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro. 2010.

FERNANDES, Antônio Vitor Barbosa; ALMEIDA, Edicarlos Soares Fernandes; ANDRADE FILHO, Gilson Santos. Alvenaria de Bloco cerâmico x Bloco de concreto. **Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, Aracaju, 2016. 37-66. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/2623>.

FERNANDES, Gustavo Fantini. **UTILIZAÇÃO DO SOLO-CIMENTO AUTO-ADENSÁVEL NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE ALVENARIA**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO". Ilha Solteira - SP. 2017.

FERREIRA, Gisleiva C. dos S.; MORENO JÚNIOR, Armando L. Cola à base de PVA e argamassa de solo-cimento como alternativas para o assentamento de alvenaria de tijolos maciços de solo-cimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, n. v. 31, n.2, mar/abr 2011. 237-248.

FERREIRA, Regis de Castro; SILVA, Elias Magalhães da; FREIRE, Wesley Jorge. **Tijolos Prensados de Solo-Cimento em Alvenaria Aparente auto-portante no "Conjunto Nossa Moradia", Goiânia-GO.** III Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. São Carlos, p. 1-14. 2003.

GAIDZINSKI, R. *et al.* Estudo do Processo de Sazonamento de Argilas para utilização em Cerâmica Vermelha. **49º Congresso Brasileiro de Cerâmica**, São Pedro - SP, 6-9 Junho 2005. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2005/resumos/49cbc-5-21.htm>.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, p. 180 p. 2003.

LELIS, Thatiana Aparecida. **Influência da energia de compactação nas relações entre o módulo resiliente, CBR e resistência à compressão não confinada de solos da zona da mata norte de Minas Gerais.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG. 2004.

LIMA, Uedja Tatyane Guimarães Medeiros. **Uso da fibra do resíduo de coco verde na produção de tijolos ecológicos.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE. Recife - PE. 2020.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais.** 3ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.

MOHAMAD, Gihad (Ed.). **Alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho.** 2ª. ed. São Paulo - SP: Blücher, 2020. 422 p.

NEVES, Célia; FARIA, Obede B. (Eds.). **Técnicas de construção com terra.** Bauru: FEB - UNESP / Proterra, 2011. 79 p.

NEVES, T.H.C; COSTA E SILVA, A.J. **AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS FATORES DE INFLUÊNCIA NA ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS DE GESSO EM PASTA.** XIII SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Goiânia. 2019.

NEVILLE, A M. **Propriedades do Concreto**. 5ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.

OTTONI, Tobias Pigatto *et al.* **ESTUDO DO POTENCIAL DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO EM DIFERENTES BLOCOS DE ALVENARIA COM E SEM USO DO CHAPISCO**. ENTAC XVII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, p. 89-96. 2018.

PARSEKIAN, Guilherme A. ; HAMID, Ahmad A. ; DRYSDALE, Robert G. . **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos - SP: Edufscar, 2012.

PARSEKIAN, Guilherme Aris ; SOARES, Márcia Melo . **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projetos, execução e controle**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2010.

PEREIRA, Manuel Fernando Paulo. **ANOMALIAS EM PAREDES DE ALVENARIA SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL**. Universidade do Minho. Guimarães. 2005.

PERERA, A. A. D. A. J. **Innovations, applications and standards of compressed stabilised earth blocks (CSEB)**. Global Innovation in Construction Conference. Loughborough (UK): Loughborough University. 2009. p. p. 154-162.

PINTO, Carlos D. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PISANI, Maria A. J. **UM MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL: O TIJOLO DE SOLO-CIMENTO**. [S.l.], p. 53-59. 2005.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Soil-Cement Inspector's Manual**. Illinois. 2001.

RAMALHO, Mareio A. ; CORRÊA, Márcio R. S.. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RECIFE (PE). LEI Nº 17.184, de 16 de janeiro de 2006. **Dispõe sobre edificações utilizando-se a técnica de Alvenaria resistente ou portante e Estrutural**, 16 jan. 2006. Disponível em: <http://www.legiscidade.recife.pe.gov.br/lei/17184/?keyword=>. Acesso em: 19 mar. 2023.

SALVADOR FILHO, José Américo Alves. **Blocos de Concreto para Alvenaria em construções industrializadas**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 246. 2007.

SANTOS, Dellane Stephani Carvalho dos ; CALDEIRA, Pedro Chaves. ESTABILIZAÇÃO DE SOLO – CIMENTO PARA BASE DE PAVIMENTO DE RODOVIA EM SÃO LUÍS – MA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 13 n.1, Março 2021. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/17065>.

SCARTEZINI, Luís Maurício; CARASEK, Helena. **FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSAS**. V SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. São Paulo. 2003.

SEBRAE. **Como montar uma fábrica de tijolos ecológicos**. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. [S.I.]. 2017.

SHAD, Shirin. **The Choice of Interventions for Strengthening of Historical Adobe Structures and Remains in Bam Citadel "Arg-e Bam"**. Deutscher Akademischer Austausch Dienst - German Academic Exchange Service. [S.I.]. 2014.

SHINOMIYA, Léo Daiki *et al.* **IMPLANTAÇÃO DE UMA FÁBRICA DE CERÂMICA VERMELHA: ESTUDO DE CASO PARA PEQUENA EMPRESA**. 71º Congresso Anual da ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração. Rio de Janeiro - RJ, p. 549 - 556. 2016.

SINAPI. **Metodologias e Conceitos**. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil / Caixa Econômica Federal - 8ª Ed. Brasília, p. 79. 2020.

SOUZA, MARCIA I. B. D. **Análise da Adição de resíduos de concretos dem tijolos prensados de solo-cimento**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”. Ilha Solteira. 2006.

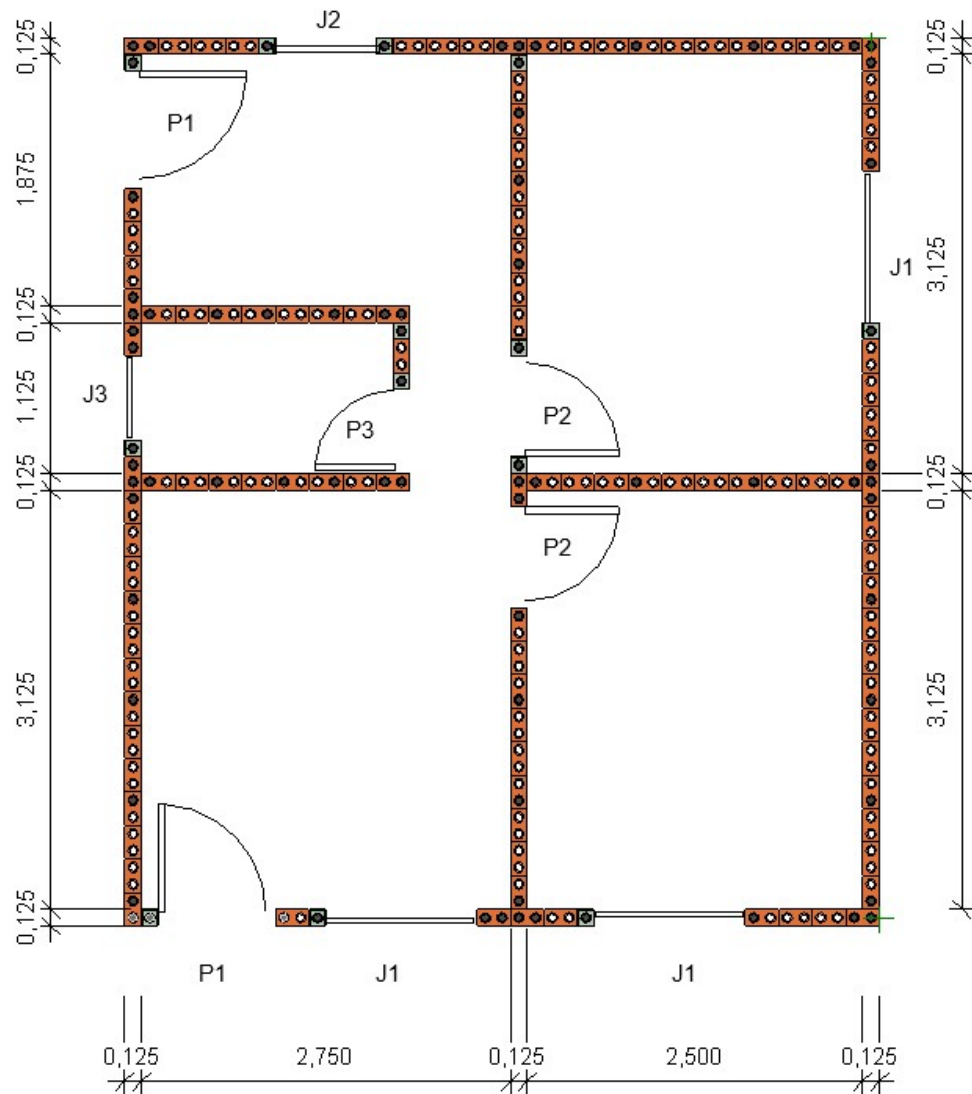
TAUIL, Carlos Alberto ; NESE, Flávio José Martins. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.

TEIXEIRA FILHO, Fernando José. **O solo-cimento e suas aplicações rurais**. ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, p. 28. 1996. (BT - 117).

THOMAZ, Ercio *et al.* **CÓDIGO DE PRÁTICAS Nº 01 - ALVENARIA DE VEDAÇÃO EM BLOCOS CERÂMICOS**. São Paulo: IPT - Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo, 2009.

ANEXO A

Figura 12 – Planta baixa da edificação estudada, com detalhamento de cotas, portas e janelas.



Fonte: Autor (2023)