



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
ENGENHARIA CIVIL

FÁBIA FERREIRA DA SILVA

Proposta de um Bloco Modular para Alvenaria de Vedação: Um Estudo Comparativo para Avaliar o Consumo de Argamassa Requerida no Bloco Cerâmico Convencional e no Bloco Modular

Delmiro Gouveia

2020

FÁBIA FERREIRA DA SILVA

Proposta de um Bloco Modular para Alvenaria de Vedação: Um Estudo Comparativo para Avaliar o Consumo de Argamassa Requerida no Bloco Cerâmico Convencional e no Bloco Modular

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Rogério de Jesus Santos.

Coorientadora: Prof. MSc. Jéssica Beatriz da Silva

Delmiro Gouveia

2020

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

S586p Silva, Fábيا Ferreira da

Proposta de um bloco modular para alvenaria de vedação: um estudo comparativo para avaliar o consumo de argamassa requerida no bloco cerâmico convencional e no bloco modular / Fábيا Ferreira da Silva. - 2021.

58 f. : il.

Orientação: Rogério de Jesus Santos.

Coorientação: Jéssica Beatriz da Silva.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2021.

1. Construção civil. 2. Bloco cerâmico. 3. Bloco modular. 4. Alvenaria de vedação. 5. Economia I. Santos, Rogério de Jesus. II. Silva, Jéssica Beatriz da. III. Título.

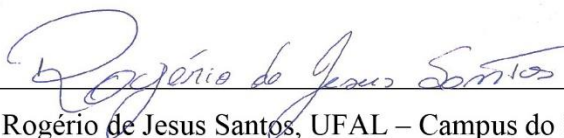
CDU: 624.012.45

Folha de Aprovação

FÁBIA FERREIRA DA SILVA

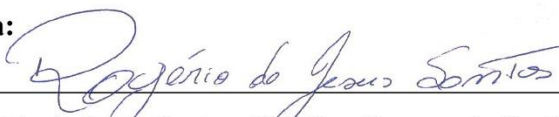
Proposta de um Bloco Modular para Alvenaria de Vedação: Um Estudo Comparativo para Avaliar o Consumo de Argamassa Requerida no Bloco Cerâmico Convencional e no Bloco Modular.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao corpo docente do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão e aprovado em 04 de Junho de 2021.



Prof. MSc Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)

Banca Examinadora:



Prof. MSc Rogério de Jesus Santos, UFAL – Campus do Sertão (Orientador)



Prof. Msc. Jéssica Beatriz da Silva, UFAL – Campus do Sertão (Coorientadora)



Ana Karolayne de Brito Andrade, UFAL – Campus do Sertão (Avaliador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus pela vida que Ele me concedeu.

Agradeço aos meus pais, pelo o esforço investido na minha educação. Agradeço à minha mãe Maria José, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço; ao meu pai, que apesar de todas as dificuldades me ajudou quando necessitei.

Meus agradecimentos aos amigos Daniel Bruno, Daone Silva e as amigas, Rafaela Carvalho, Lidyane Bezerra, Anne Elizabeth, Karla Ketllen e Vitória Luiza, companheiros e companheiras de convivência, que compartilharam comigo seus conhecimentos, apoio e força nos momentos de difíceis; irmãos na amizade que fizeram parte da minha formação e que, com certeza, continuarão presentes em minha vida.

Agradeço a meu namorado, Altair Alves, que encontrei já na reta final do curso, me amparou e fortaleceu nos momentos que mais precisei e sempre esteve disposto a me ajudar no que fosse preciso.

Agradeço também à minha primeira orientadora, professora Bruna Rosa de Barros, que despertou em mim o interesse pela pesquisa acadêmica.

Sou grata pela confiança depositada na minha proposta de projeto pelo professor Rogério de Jesus, orientador deste trabalho. Obrigado por me manter motivada durante todo o processo e por muito me ajudar e me fortalecer nos momentos mais difíceis que passei na Universidade. Que Deus o abençoe grandemente.

Obrigada a minha coorientadora por todo empenho dedicado a este trabalho, pois suas contribuições muito me ajudaram a melhor tratar o assunto abordado. A você, minha gratidão e respeito.

Por último, quero agradecer também à Universidade Federal de Alagoas por todo o seu corpo docente e profissionais que nela trabalham direta e indiretamente, pois todos contribuíram para a minha formação. Meus sinceros agradecimentos a todos.

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico avança em diversos setores da indústria. Porém, na construção civil, observa-se que esta ainda carece de tecnologias que facilitem o processo construtivo, pois estas tecnologias exercem uma grande importância para as construções em geral, sempre em vista a minimizar custos e desperdícios. Nesta perspectiva, pode-se citar as edificações que são construídas com bloco cerâmico convencional que é uma técnica antiga; tais blocos carecem de avanços tecnológicos, sendo, dessa forma, necessário atuar de maneira mais enfática nesta área visando confeccionar novos modelos de blocos que atendam às exigências do mercado da construção civil. Diante disso, este trabalho apresenta uma proposta de blocos modulares com geometria diferenciada para alvenaria de vedação, que é composto por blocos de encaixe, com sugestão de aplicação de argamassa apenas na horizontal. Internamente nos blocos, os encaixes facilitam a passagem de instalações elétricas e hidráulicas nas duas direções, diminuindo a quantidade de danos no assentamento e na passagem das instalações. Durante a criação dos blocos, foram utilizados softwares de representação gráfica e modelagem tridimensional. Com esse trabalho, foi possível obter excelentes resultados na economia da construção do m² de alvenaria ao utilizar o bloco modular proposto, tendo apresentado valores entre 60% e 90% dos valores das alvenarias construídas com blocos convencionais.

Palavras-chave: Coordenação Modular. Construção Civil. Alvenaria de vedação.

ABSTRACT

Several sectors of the industry experience different technological development; however the construction sector still lacks technological innovations to improve the construction processes, because these construction technologies are indispensable for construction in general, aiming for minimizing costs and waste. In this perspective, we mention conventional construction based upon traditional ceramic bricks, which is an old technique; these bricks lack technological improvements, which makes this a topic of great interest for civil construction market to develop new models of bricks meeting efficiency requirements. Accordingly, this work proposes modular bricks with differentiated geometry for sealing masonry, which is composed of interlocking bricks, and mortar is applied only horizontally. Internally, the fittings facilitate the passage of electrical and hydraulic installations in either directions, reducing damage in the surface and in the installation system. For representing the bricks we use 3-D graphic software. With this work, excellent results were obtained in the economy of the construction of m² of masonry when using the proposed modular brick, having presented values between 60% and 90% of the values of masonry built with traditional ceramic bricks.

Keywords: *Modular Coordination. Civil Construction. Sealing masonry.*

“Dê-me, Senhor, agudeza para entender, capacidade para reter, método e faculdade para aprender, sutileza para interpretar, graça e abundância para falar. Dê-me, Senhor, acerto ao começar, direção ao progredir e perfeição ao concluir.”

(São Tomás de Aquino)

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Classificação das perdas segundo o tipo de recurso consumido..... | 20 |
| Figura 2: Perdas de recurso físicos: (a) perda de materiais; (b) perda de mão de obra; (c) perda de equipamentos. | 20 |
| Figura 3: Sistema modular de referência..... | 23 |
| Figura 4: Reticulado modular de referência..... | 24 |
| Figura 5: Quadrícula modular de referência..... | 24 |
| Figura 6: Quadrícula modular de referência..... | 24 |
| Figura 7: Módulo base..... | 25 |
| Figura 8: Zona Neutra..... | 25 |
| Figura 9: Processo de fabricação dos blocos cerâmicos: (a) gabarito do bico extrusor; (b) argila passando pelo gabarito; (c) blocos no forno para queima. | 29 |
| Figura 10: Fabricação de tijolos de solo e cimento: (a) solo e cimento sendo prensados; (b) tijolo prensado..... | 29 |
| Figura 11: Confeção dos blocos de concreto: (a) forma; (b) adensamento e conformação dos blocos; (c) cura dos blocos. | 30 |
| Figura 12: (a) Geometria do bloco cerâmico para alvenaria de vedação com furos na horizontal; (b) Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical. | 31 |
| Figura 13: Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas..... | 31 |
| Figura 14: Bloco cerâmico estrutural com paredes externas e internas maciças..... | 32 |
| Figura 15: Bloco cerâmico estrutural com paredes maciças e paredes internas vazadas | 32 |
| Figura 16: Bloco estrutural perfurado | 32 |
| Figura 17: Bloco vazado de concreto simples sem função estrutural..... | 33 |
| Figura 18: Tijolo maciço de solo e cimento | 33 |
| Figura 19: Tijolo de solo e cimento vazado, tijolo canaleta e meio tijolo..... | 33 |
| Figura 20: (a) Canaleta do tipo J; (b) Canaleta graute; (c) Canaleta do tipo U..... | 34 |
| Figura 21: Modelo dos blocos com vista superior, frontal e lateral (medidas em metros) | 35 |
| Figura 22: Geometria em 3D..... | 35 |
| Figura 23: Amarrações em L, T e cruz..... | 36 |
| Figura 24: Corte da chapa de madeira: (a) tela de comando dos eixos x, y, z; (b) máquina executando o corte; (c) fôrma..... | 36 |
| Figura 25: Aplicador de argamassa | 42 |
| Figura 26: Planta baixa de uma residência popular..... | 43 |
| Figura 27: Detalhes da Instalação Elétrica | 50 |
| Figura 28: Detalhes das amarrações em L, T e Cruz..... | 50 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Dimensões dos blocos para comparação dos custos..... | 38 |
| Tabela 2: Espessuras das juntas de amarração | 38 |
| Tabela 3: Número de blocos (por m ²) e volume de argamassa (m ³ /m ²)..... | 38 |
| Tabela 4: Percentual de argamassa para os blocos convencionais em relação ao bloco modular | 38 |
| Tabela 5: Composição Analítica de Serviço para 1 m ³ de argamassa. | 39 |
| Tabela 6: Composição Analítica de Serviço para 1 m ² de alvenaria-Bloco Modular | 39 |
| Tabela 7: Composição Analítica de Serviço para 1 m ² de alvenaria-Bloco 1(9x14x19 cm) ... | 39 |
| Tabela 8: Composição Analítica de Serviço para 1 m ² de alvenaria-Bloco 2 (9x19x19 cm) .. | 40 |
| Tabela 9: Composição Analítica de Serviço para 1 m ² de alvenaria-Bloco 3 (11,5x19x19 cm) | 40 |
| Tabela 10: Quantidade de insumos e mão de obra por bloco..... | 40 |
| Tabela 11: Composição de custo unitário: Bloco Modular | 41 |
| Tabela 12: Composição de custo unitário: Bloco 1 (9x14x19 cm) | 41 |
| Tabela 13: Composição de custo unitário: Bloco 2 (9x19x19 cm) | 41 |
| Tabela 14: Composição de custo unitário: Bloco 3 (11,5x19x19 cm) | 41 |
| Tabela 15: Custo de insumos por m ² de alvenaria por tipo de bloco | 42 |
| Tabela 16: Cômodos e suas dimensões internas..... | 44 |
| Tabela 17: Perímetro total, pé direito e área total de alvenaria | 44 |
| Tabela 18: Área total das portas e janelas | 45 |
| Tabela 19: Área total de alvenaria, área total das aberturas e área total líquida de alvenaria .. | 45 |
| Tabela 20: Quantidade de blocos e volume de argamassa para cada tipo de bloco utilizado .. | 45 |
| Tabela 21: Quantidade de insumos e mão de obra para produzir a argamassa | 47 |
| Tabela 22: Quantidade de sacos de cimento e cal hidratada para produzir a argamassa | 47 |
| Tabela 23: Custo total para a argamassa de assentamento da residência | 48 |
| Tabela 24: Economia Total do bloco modular | 49 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Quantidade de blocos para cada tipo de bloco utilizado | 46 |
| Gráfico 2: Volume de argamassa para cada tipo de bloco utilizado | 46 |
| Gráfico 3: Consumo de blocos do tipo modular em relação aos demais blocos | 46 |
| Gráfico 4: Economia de argamassa do bloco modular em relação aos demais blocos | 47 |
| Gráfico 5: Custo total com 10% de perda | 48 |
| Gráfico 6: Economia Total do bloco modular | 49 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|------------------------|----|
| Equação 1 | 37 |
| Equação 2 | 37 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Problema da Pesquisa | 15 |
| 1.2 Objetivo geral | 15 |
| 1.3 Objetivos específicos | 15 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 2.1 Perdas e Desperdício na Construção Civil | 16 |
| 2.1.1 Meio Ambiente, Produção de Blocos Cerâmicos e a Geração de Resíduos | 16 |
| 2.1.2 Perdas e Desperdício entre a Produção e a Utilização dos Materiais | 17 |
| 2.2 Coordenação Modular | 21 |
| 2.2.1 Aspectos históricos da coordenação modular em Roma e na Grécia e disseminação da coordenação modular no mundo | 21 |
| 2.2.2 Definições mais utilizadas na Coordenação Modular | 22 |
| 2.2.3 Construção Enxuta | 25 |
| 2.2.3.1 Ferramentas da Construção Enxuta | 26 |
| 2.2.4 Blocos para a Construção Civil | 28 |
| 2.2.4.1 A Alvenaria | 28 |
| 2.2.4.2 Produção dos Blocos | 28 |
| 2.2.4.3 Tipos de Blocos | 30 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 37 |
| 4.1 Discussão da aplicação dos resultados apresentados nas tabelas em um projeto de uma residência unifamiliar | 43 |
| 4.1.1 Cálculo do comprimento total de alvenaria de vedação | 44 |
| 4.1.2 Cálculo da área total de alvenaria de vedação | 44 |
| 4.1.3 Cálculo da área total das aberturas | 44 |
| 4.1.4 Cálculo da área total líquida de alvenaria de vedação | 45 |
| 4.1.5 Cálculo do número de blocos e volume de argamassa para cada tipo apresentado | 45 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 51 |
| REFERÊNCIAS | 53 |

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade, as construções sempre desempenharam um papel ímpar na história do mundo, satisfazendo a necessidade principal de se ter um abrigo. Para tanto, o homem se utilizava de elementos que encontrava em sua região, os quais julgava com características (durabilidade) aceitáveis e os empregava para a construção de suas moradias, vindo a gerar mais tarde alguns dos pontos principais do que hoje conhecemos por sistema construtivo (BASTOS, 2015).

No início, todo o entendimento sobre técnicas construtivas derivava de práticas empíricas adquiridas através dos tempos, sendo aperfeiçoadas ao curso que ocorria a evolução humana para atender suas necessidades, conforme estas iam surgindo, fazendo o uso de materiais com desempenhos mecânicos já conhecidos. A despeito de todo o desenvolvimento tecnológico que possibilitou o uso de projetos e cálculos cada vez mais refinados, bem como a fabricação de novos materiais e a combinação de materiais usuais, como o concreto e o aço, formando o concreto armado, verifica-se que o processo construtivo quase não apresentou mudanças significativas, uma vez que ainda comporta grande dissonância, pois a forma de se erguer uma construção, tradicionalmente, continua a mesma há séculos.

Baseando-se no exposto, é importante ressaltar que a modernização tecnológica dos processos de produção da construção civil não se dará de forma rápida, com a substituição absoluta e imediata das técnicas e características do método tradicional. Essa mudança ocorre de forma gradativa, passando pela racionalização tradicional da construção, para aos poucos alcançar as inovações tecnológicas (SILVA, 2003).

Nessa visão, é fundamental repensar os meios de construção e o uso de alguns materiais convencionais, a exemplo dos blocos cerâmicos e tijolos, que, há anos são, praticamente, utilizados sem qualquer alteração em sua forma. Portanto, é necessário que novos modelos sejam desenvolvidos com finalidade a racionalizar o processo de construção e, principalmente, que ofereça economia e redução nos desperdícios de tempo e materiais.

Assim, este trabalho apresenta uma proposta de blocos modulares para alvenaria de vedação visando facilitar os processos habituais da construção civil. Os blocos consistem em um novo elemento construtivo, de geometria diferenciada, que possibilita encaixes precisos e utilização de argamassa em apenas uma direção, a horizontal.

1.1 Problema da Pesquisa

Diante do exposto, pretende-se responder aos seguintes questionamentos sobre a possibilidade de se construir com um novo tipo de bloco; a redução do consumo de argamassa utilizando uma nova geometria de blocos modulares e redução no custo da alvenaria.

1.2 Objetivo geral

Confeccionar uma nova geometria de blocos modulares e fazer um estudo comparando-o com bloco cerâmico convencional, acerca da quantidade de argamassa requerida no assentamento para cada tipo de bloco.

1.3 Objetivos específicos

Analisar as seguintes questões:

- Avaliar o consumo de argamassa em diferentes tipos de blocos;
- Averiguar qual bloco gera maior economia por m² de alvenaria.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Perdas e Desperdício na Construção Civil

Sobre perdas e desperdício na construção civil, define-se o que significa cada termo, bem como se apresenta, na visão de alguns autores, os aspectos que levam a essa problemática. No que se refere a coordenação modular, enfatiza-se a importância do módulo e dos conceitos que balizam essa ferramenta e sua importância para confecção de novos componentes de construção. E em relação a construção enxuta, apresenta-se algumas ferramentas e exemplos de aplicação em canteiros de obras, encerrando-se o referido capítulo com uma abordagem sobre os variados tipos de blocos empregados na construção civil.

2.1.1 Meio Ambiente, Produção de Blocos Cerâmicos e a Geração de Resíduos

É sabido que ao longo dos anos a construção civil inovou na produção de alguns materiais para melhor atender o mercado consumidor. Materiais de alta qualidade e resistência e métodos construtivos que permitem construir casas em apenas uma semana, a exemplo do *stell frame e wood frame*, são exemplos do avanço tecnológico na construção civil.

Alguns componentes construtivos tiveram aperfeiçoamentos em suas características físicas, garantindo melhor desempenho e aplicação, a exemplo da argamassa polimérica que hoje é aplicada com bisnaga sendo necessário apenas um filete de um centímetro para ligação dos blocos. Porém, essas melhorias não chegaram ao principal componente de construção, que são os blocos cerâmicos. Pouco se avançou no desenvolvimento de novas geometrias de blocos para vedação.

Com efeito, no mercado ainda predomina o uso massivo de blocos cerâmicos, sendo este desprovido de tecnologia construtiva e sua utilização gera bastante resquícios, que junto aos demais resíduos de construção, representa cerca de 51% a 70% de resíduos sólidos urbanos, bem como as etapas que seguem o processo de fabricação desses blocos, degradam e poluem o meio ambiente (MARQUES NETO, SCHALCH, 2005).

Uma consequência bastante grave nos meios de produção desses blocos são as fontes de energia utilizadas em seu segmento. À lenha é a base fundamental da matriz energética dos setores cerâmicos. No mais, os resíduos que são gerados a partir da queima da cerâmica trazem impactos negativos ao meio ambiente (PORTELA, GOMES, 2005).

Em adição, sabe-se que sempre haverá geração de resíduos, mas existem meios que levam ao racionamento, pois se os produtos/componentes de construção forem bem planejados antes de sua fabricação, de modo que minimizem sua alteração no canteiro de obra, isso o tornará mais eficiente facilitando o racionamento na obra, também pode utilizar tais resíduos para aterramento de valetas junto ao solo, assim também como agregado para o concreto ou como contrapiso em habitações. Logo, é necessário dá mais atenção a essa questão buscando tecnologias mais sustentáveis para se evitar ao máximo alterações nos produtos.

Para Souza (1998) a geração de resíduos está diretamente ligada a perdas de materiais nos canteiros de obras, tendo obtido, como resultados de suas pesquisas, valores de perdas máximos de 311% para areia, 638% para cimento e 638% para cal, por exemplo. De acordo com o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014), o desperdício de material também é ocasionado pela má administração do canteiro de obra e de projeto.

Nesses moldes, a indústria da construção civil é uma das que recebe mais críticas por provocar uma grande quantidade de resíduos que, às vezes, não recebem um tratamento apropriado. No mais, a matéria prima utilizada também suscita muitos julgamentos por se tratar de recursos naturais dos quais muitas vezes não são renováveis (VISINTAINER; CARDOSO; VAGHETTI, 2012).

2.1.2 Perdas e Desperdício entre a Produção e a Utilização dos Materiais

Soibelman (1993) apud Skoyles comprovaram que os construtores não evitam as perdas de materiais, uma vez que acreditam que tais perdas são pequenas e, portanto, inevitáveis. Via de regra, os profissionais da construção civil estão habituados com as perdas, sem preocupar-se com as possíveis causas, aceitando as consequências como uma característica normal do processo construtivo.

As perdas de materiais podem ser classificadas em dois tipos: inevitáveis e evitáveis. As inevitáveis são sinônimas de perda natural sendo que as evitáveis se referem a decorrência do emprego inadequado dos materiais e seus componentes. Com base nessas informações, salienta-se a importância de diferenciar o significado das palavras perda e desperdício, uma vez que é comum o uso errôneo delas (idem).

Em seu dicionário da Língua Portuguesa, Ferreira (2018) define perda e desperdício da seguinte forma:

- **Perda** - diminuição que alguma coisa sofre em seu volume, peso, valor, prejuízo financeiro, ato de não vencer ou de perder e ser privado de algo que possuía;
- **Desperdício** - ação ou efeito de desperdiçar, de não aproveitar da maneira como deveria; falta de proveito.

Santos et al apud Mália (2017) cita estudos realizados sobre as perdas na construção civil, tanto nacional como internacional, em que os índices de perdas por materiais são bastante discrepantes, sendo analisados vários estudos sobre perdas em países Europeus, relacionando os indicadores (kg/m²) por tipo de material. Desse modo, o estudo apontou que nos edifícios com estruturas de concreto armado, a perda de tijolos ficou entre 19,2 e 58,6 (kg/m²) enquanto telhas e materiais cerâmicos ficaram entre 1,7 e 3,2 (kg/m²).

Na literatura científica existem várias definições de perdas, Oliveira (1998) diz que perda é toda atividade ou não atividade que gera custos, mas não acrescenta valor ao produto/serviço. Rosa (2001) considera perda como sendo o entulho gerado e removido do canteiro de obras em reformas ou demolição e, também, nas novas obras de edificação e infraestrutura.

Por sua vez, Jungles et al. (1999) em seu trabalho sobre desperdício de materiais na fase de revestimento, diz que a perda pode ser entendida como toda falta de aproveitamento do potencial da construção para alcançar custos menores e proporcionar maior satisfação do cliente, conglomerando a ineficiência do uso de materiais, mão de obra e equipamentos em proporções superiores àquelas essenciais à realização da edificação.

De acordo com Vargas et al (1997), perda é qualquer recurso que se é gasto na execução de um produto ou serviço além do previsto, a exemplo da perda de mão de obra, matéria-prima, materiais, tempo, dinheiro, etc. Na construção civil, o conceito de perdas envolve não apenas o desperdício de materiais, mas qualquer improficiência no uso de equipamentos, materiais e mão de obra.

Soibelman (1993) apud Skoyles considera que no processo construtivo existem várias etapas que apresentam ocorrência de perdas nos seguintes casos: no transporte, no canteiro, no descarregamento, na armazenagem, no transporte interno, na produção e até mesmo após a sua aplicação.

Souza (2005), enfatiza que “A perda de material ocorre toda vez que se utiliza uma quantidade do mesmo maior que a necessária” ou pode ser explanada também como “Perda é toda quantidade de material consumida, além da quantidade teoricamente necessária, que é aquela indicada no projeto e seus memoriais, ou demais prescrições do executor, para o produto sendo executado”.

No que se refere a desperdício, no estudo de Perez et al. (2010), é enfatizado que são dispêndios ocorridos no processo de produção que podem ser abolidos sem que haja prejuízo da qualidade dos produtos gerados. Desperdícios refere-se a gastos que o consumista não está disposto a pagar, por se tratar de custos/despesas que não agregam valor ao produto ou serviço (SOUZA, 2014).

Nos estudos de Bornia (2010) é apresentado que os desperdícios são determinados como esforços que não agregam valor aos produtos, sendo dispensáveis ao trabalho efetivo, que por ocasiões, até diminuem o valor do produto final.

Em outra vertente, Agopyan et al. (1998) diz que o termo desperdício está envolvido em uma série de discussões pelo fato de assumir uma conotação de repulsa, principalmente, a favor do sentido negativo que assume e ainda pelo fato de implicar numa análise que, por vezes, é subjetiva ou não segue critérios pré-definidos.

Os aumentos nos preços da construção, sucedidos pelo desperdício de modo geral, representam 6% e os acréscimos na massa de materiais chegam aos 20%. Na Bélgica e na França, esses valores correspondem a 17% e 12%, respectivamente, enquanto que no Brasil os números mais que dobram, chegando a significativos 30%. (GROHMANN apud PINTO, 1995).

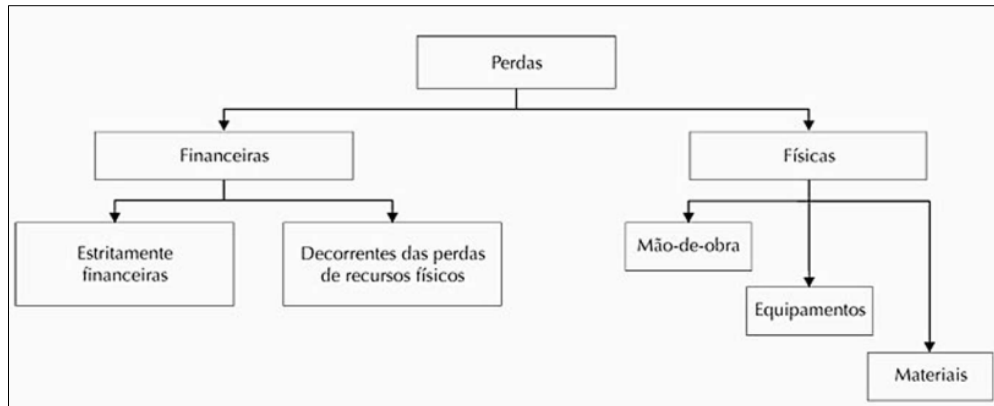
Quando ocorre perda física de material o insumo utilizado na fabricação do componente também é perdido e isso sempre está associado a um custo, como também existem situações em que as perdas são essencialmente monetárias. Estas perdas ocorrem quando os materiais são utilizados para outros fins que não aqueles para os quais foram designados ou em quantidades superiores àquelas solicitadas em projeto (SOIBELMAN).

Para Neto (2018), uma das particularidades nas perdas da construção de edificações no Brasil, é a existência de um certo descompasso entre a tecnologia disponível e a utilizada, que o usuário receberá como produto final. No país existem excelentes engenheiros e materiais de boa qualidade, mas o método construtivo ainda é arcaico e semiartesanal.

Construir requer uma série de recursos que Souza (2005) classifica em dois grupos: recursos físicos e financeiros. Os físicos são os de maior abrangência na construção, tais como materiais, mão de obra e equipamentos. E em relação aos financeiros, é possível está

consumindo mais unidades monetárias que o previsto por razões especificamente financeiras ou por decorrência de perdas físicas. As Figuras 1 e 2 mostram exemplos associados ao que foi exposto.

Figura 1: Classificação das perdas segundo o tipo de recurso consumido

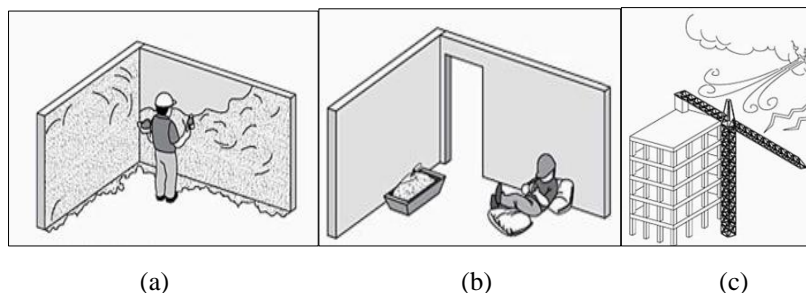


Fonte: Souza (2005)

O organograma apresentado na Figura 1 exibe dois tipos de perdas, financeiras e físicas. A primeira está diretamente ligada a um custo enquanto a segunda está vinculada aos dispêndios ocorridos na execução de um dado produto ou no canteiro de obras. Assim, depreende-se que perdas físicas são o gatilho para as perdas financeiras.

A Figura 2 mostra três situações em que há perda de recursos físicos, de materiais e de mão de obra. Na situação (a) ocorre perda de material, pois não há um cuidado para com a argamassa que cai no chão, sendo que poderia se colocar um anteparo logo abaixo da parede para reaproveitar esse material. Em (b) ocorre perda de mão de obra, pois o trabalhador não está executando suas funções no horário que deveria. Na situação (c) há perda de equipamentos que são danificados pela ação do mal tempo.

Figura 2: Perdas de recurso físicos: (a) perda de materiais; (b) perda de mão de obra; (c) perda de equipamentos.



Fonte: Adaptado de Souza (2005)

2.2 Coordenação Modular

A coordenação modular trata-se de um método de abordagem de projeto, onde os elementos construtivos são dimensionados a partir de uma unidade de medida comum. Tal unidade é chamada de módulo e define as dimensões e grandeza dos elementos constituindo uma relação de dependência entre eles sendo o produto final, a edificação.

Para Bastos (2015) apud Freire (2006), a coordenação modular é um mecanismo que dentre suas características têm como consequência a racionalização das dimensões, levando em consideração a sua relação com a edificação, permitindo a articulação dos elementos construtivos, sem cortes e ajustes, fazendo uso de um módulo como unidade medida, diminuindo a variedade de tamanhos e formas dos componentes, tornando-os conjugados entre si, padronizados, além de facilitar sua posterior montagem e combinação.

2.2.1 Aspectos históricos da coordenação modular em Roma e na Grécia e disseminação da coordenação modular no mundo

Desde tempos muito remotos a utilização do módulo é conhecida, pois na antiguidade os gregos e romanos faziam uso do conceito de módulo na arquitetura tendo como objetivo proporção e simetria a partir da unidade básica utilizada (VITRÚVIO, 2007).

Fundamentando-se nisso, para a unidade básica das dimensões os gregos utilizavam o diâmetro da coluna. De posse desse módulo, criavam-se todas as demais dimensões, não apenas da coluna, mas também o fuste, o capitel e a base e todas as demais dimensões da obra arquitetônica (MELLO, 2010).

Os romanos desenvolveram uma unidade de medida a qual chamaram de *passus romano* e, desse modo, planejavam as cidades e faziam projetos de edificações tendo como base o reticulado modular baseado no *passus*. Eles também padronizaram os tijolos em dois tipos universais: *bipetalis* e *eseguiptalis* (MELLO apud ROSSO, 2010).

Tempos mais tarde, na década de 50, o mundo obteve consenso em relação aos pré-fabricados com produção prevalentemente industrial de elementos construtivos adaptáveis. Nessa época se pensava nas séries de produção de massa, de peças padronizadas para serem estocadas e, conseqüentemente, de canteiros reduzidos a simples linhas de montagem, em que o trabalho em cadeia fosse alimentado pelo fluxo de materiais oriundos dos estoques existentes nas indústrias de transformação e a integração das partes fossem asseguradas por medidas técnicas da então coordenação dimensional com base modular (BREGATTO, 2008).

“No panorama internacional, surgiram, os monstros sagrados da pré-fabricação pesada francesa e russa e entre nós algumas tentativas de pré-fabricação, sobretudo estrutural, e de instalações hidrossanitárias (os chamados blocos água). Dado o sucesso, bastante relativo, da pré-fabricação, começou-se a falar, por volta dos anos 60, de “industrialização”, ainda desta vez de maneira amadorística e fantasiosa, com vagas referências aos processos ocorridos em outros setores industriais.” (BREGATTO, 2008).

Assim, perceber a obra como um conjunto de componentes e sistemas articulados, e não apenas um local onde materiais básicos são transformados, vem simplificar a gestão e permitir novos meios de produção, com uma maior produtividade e qualidade (BARBOSA; SILVA; JÚNIOR, 2011).

2.2.2 Definições mais utilizadas na Coordenação Modular

Para o CBCS (2014), a coordenação modular é uma técnica que pode evitar que os blocos sejam quebrados para ajustes na obra.

De acordo com a ABNT NBR 15873 (2010) a coordenação modular é a técnica que admite incluir as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência, visando aumentar a intercambiabilidade de elementos tanto na construção inicial quanto em reformas e melhorias ao longo da vida útil da edificação.

Nesses moldes, o modelo com coordenação modular que mais se destaca no cenário nacional é a alvenaria estrutural, executada com blocos de concreto. Desse modo, o uso desta técnica é muito importante para garantir a racionalização da construção frente as condições dispostas no projeto (AZUMA, 2008).

Por outra vertente, Parizzoto (2004) enfatiza que a coordenação modular faz referência a um sistema que utiliza dimensões pré-estabelecidas de simetria e proporção que objetiva arranjar o ambiente da construção por meio de medidas que se fundamenta em um sistema modular com dimensões organizadas.

Segundo Baldauf (2004), para que a construção civil se torne apta a cumprir o desempenho a que é estabelecida pela realidade contemporânea, é necessário que se encontre capacitada a produzir edificações que, além de respeitarem qualidades indispensáveis, a exemplo de habitabilidade, funcionalidade e durabilidade igualmente proporcionem características pautadas à produtividade, baixo custo e comportamento ambiental.

Dentro desse contexto, Mamede (2001) menciona algumas vantagens que são obtidas através da coordenação modular:

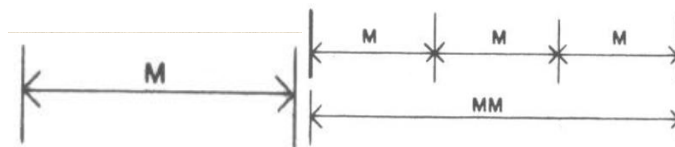
- Simplificação da elaboração de projeto;
- Normalização dos componentes de construção;
- Otimização das dimensões com redução do número de formato dos componentes da construção;
- Diminuição dos problemas de interface entre componentes e subsistemas;
- Padronização dos detalhes e precisão dimensional.

Mello (2010) enfatiza que a coordenação modular consiste num sistema que ordena a confecção de qualquer artefato, desde o que foi estabelecido no projeto até o produto final. Esta ordenação se efetiva, especialmente, pela adoção de uma medida de referência, o módulo, tida como base de todos os elementos constituintes do objeto a ser confeccionado.

A NBR 15873 (2010) que versa sobre a coordenação modular, apresenta algumas definições para a modulação. A seguir, apresenta-se os que são mais utilizados.

- **Sistema modular de referência:** é um sistema constituído por pontos, retas e planos servindo de referência espacial para determinar as dimensões e a posição dos componentes construtivos.

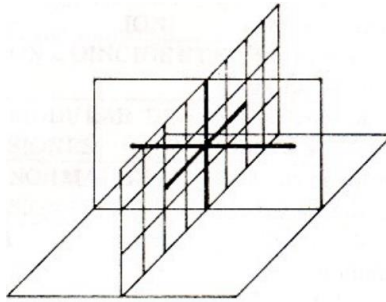
Figura 3: Sistema modular de referência



Fonte: Adaptado da NBR 15873 (2010)

- **Reticulado modular de referência:** trata-se de um reticulado de referência utilizado no sistema modular de referência. É uma malha tridimensional em que um sistema de linhas traceja módulos espaciais subsequentes de dimensões (largura, comprimento e altura) iguais a um módulo.

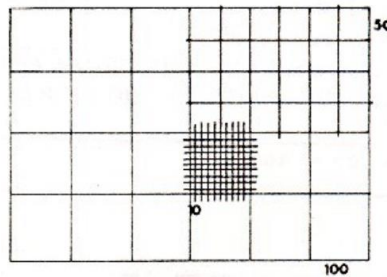
Figura 4: Reticulado modular de referência



Fonte: Adaptado da NBR 15873 (2010)

- **Quadrícula modular de referência:** Malha bidimensional: Resulta da projeção ortogonal do reticulado modular de referência em um plano paralelo a um dos lados dos módulos espaciais.

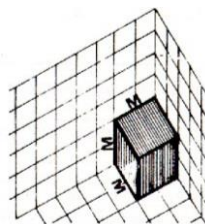
Figura 5: Quadrícula modular de referência



Fonte: Adaptado da NBR 15873 (2010)

- **Módulo Normal/módulo básico:** É uma medida mínima de referência da qual deriva-se as medidas em projeto e obra. Obedece a uma medida mínima divisora comum que visa ordenar as dimensões dos elementos de construção. O desenho do reticulado modular de referência resulta dessa medida. Assim, por convenção internacional, o módulo básico (M) mede 10 cm.

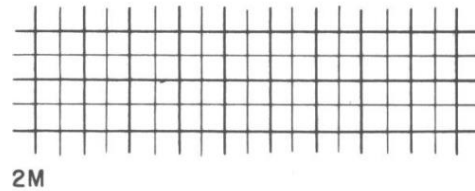
Figura 6: Quadrícula modular de referência



Fonte: Adaptado da NBR 15873 (2010)

- **Módulo base:** Unidade de medida com valor fixado para coordenar as dimensões dos componentes com a máxima flexibilidade. Seu valor resulta do módulo básico.

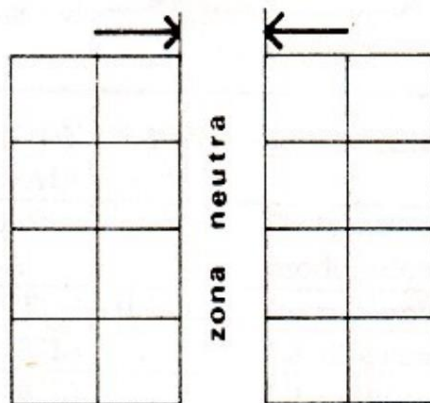
Figura 7: Módulo base



Fonte: Adaptado da NBR 15873 (2010)

- **Zona Neutra:** Zona que não é modular compreendida entre quadrículas modulares que são destinadas a absorver partes do projeto de difícil modulação.

Figura 8: Zona Neutra



Fonte: Adaptado da NBR 15873 (2010)

2.2.3 Construção Enxuta

A construção enxuta é uma filosofia de trabalho que se fundamenta na implementação de um conjunto de metodologias, ferramentas e atividades, bem como ações que permitam reduzir o desperdício durante a fase de projeto e execução de uma obra (OLIVEIRA, 2013).

Essa filosofia é derivada da *Lean Production (Produção enxuta)* que surgiu no Japão em 1950 através de pesquisas realizadas por dois engenheiros. Em uma visita aos Estados Unidos para observar o sistema de produção em massa na empresa Ford Motor, constataram que copiar ou melhorar o sistema seria inexecutável, dada a situação do Japão na época (LOREZON; MARTINS, 2006).

Com o fim da segunda Guerra mundial, o Japão saiu devastado sem recursos para investimentos de produção em massa, assim os dois engenheiros citados acima concordaram que seria mais viável a criação de um novo sistema de produção que visasse a eliminação de desperdício em suas linhas de produção. Criaram um sistema para administrar a produção que ficou conhecido como Sistema Toyota de Produção (TPS- *Toyota Production System*), desenvolvido ao longo de muitas décadas depois de várias tentativas (CATIDIO, 2009).

Com base na *Lean Production* nasceu a *Lean Construction* (Construção Enxuta), criada em meados da década de 90 com o intuito de divulgar novos conceitos sobre otimização da construção e de seus componentes (idem). Pioneiro no assunto, o finlandês Lauri Koskela, foi o primeiro a abordar os conceitos dessa nova filosofia de produção na construção e a partir da década de 90 se tornou o mais novo modelo gerencial de processos no setor da construção civil (SANTANA, 2011).

No Brasil a evolução da construção enxuta ocorreu nessa mesma década com um novo referencial teórico desenvolvido para gestão de processos na construção, com o intuito de adaptar determinados conceitos e princípios oriundos da Gestão da Produção (OYAMA e MOTA, 2010).

No trabalho de Ferreira, Guerra e Diniz (2015), é citado o Grupo Internacional de Construção Enxuta (IGLC) fundado em 1993 e composto por vários profissionais do ramo da engenharia, arquitetura, construção (AEC) e pesquisadores que tem como objetivo a busca de soluções mais eficazes para o futuro da construção de forma a melhorar o desenvolvimento dos processos que competem a AEC, especialmente o produto.

Assim, a principal característica do grupo citado está centrada na ênfase teórica, posto que, muitas das vezes, a carência de teoria explícita no ramo da construção estabelece um grande obstáculo para o progresso.

2.2.3.1 Ferramentas da Construção Enxuta

No trabalho de WIGINESCKI (2009) foram aplicados os princípios da construção enxuta voltados ao planejamento e controle de obras e a organização do canteiro. O objetivo se pautou na transparência em obras de curto prazo e pequeno porte. A seguir, apresenta-se algumas ferramentas que foram utilizadas:

- Planejamento: melhora a produtividade por meio da redução de atrasos, da realização do trabalho na melhor sequência construtiva combinando a força de trabalho com o trabalho disponível;
- Last Planner: pessoa ou grupo responsável pelo planejamento operacional, estruturando o projeto do produto para facilitar a melhoria do andamento de trabalho e o controle de unidades de produção;
- Lookahead: controla o fluxo do projeto, dos suprimentos e da instalação através das unidades de produção;
- 5S: ferramenta de gestão da qualidade que mantém a ordenação, organização, padronização, disciplina e limpeza no ambiente de trabalho, cuidando do mesmo, bem como dos equipamentos, materiais, métodos, medidas, e, principalmente, pessoas.
- SEIRI: conhecido em português como senso de utilização, fundamenta-se em separar o que é necessário e partes necessárias das não utilizadas, e retirar itens desnecessários para limpar a área;
- SEITON: é conhecido em português como senso de organização, e significa arrumar de maneira organizada e identificando todas as ferramentas e partes, separando-as e etiquetando-as de acordo com sua particularização.

Wiginescki (2009) analisou as características essenciais a este modelo produtivo e criou ações de planejamento para toda a obra, buscando envolvimento de todas as partes, realizando treinamentos de mão de obra, com definição de um leiaute, tendo como base o desenvolvimento das atividades para aumento na transparência do processo construtivo.

Por outra vertente, Hirota e Formoso (2000) alertam que a aplicação dos conceitos da produção enxuta na construção civil precisa resultar de um método de transferência e não de réplica, compreendendo a transferência como um termo comum que pode ser um estudo de aprendizados bem delineadas por intermédio da ação executada durante a implementação dessas práticas em outros setores.

Em suma, ferramentas enxutas a exemplo da *Last Planner System* (LPS), mapeamento de fluxo de valor (MFV), *Integrated Project Delivery* (IPD) e 5S, estão cada vez mais sendo difundidas entre os profissionais do ramo da construção civil. Os benefícios proporcionados pela aplicação dessas ferramentas são muitos, como exemplo citam-se a melhoria da qualidade dos processos, diminuição dos desperdícios, aumento na produtividade da mão de obra, aumento da segurança e saúde no trabalho.

2.2.4 Blocos para a Construção Civil

2.2.4.1 A Alvenaria

Fontes históricas presumem que a alvenaria tenha sido criada por volta de 15.000 anos A.C., o homem necessitando de um refúgio natural para se proteger das intempéries e dos animais selvagens, decidiu empilhar pedras para se abrigar. Porém, a pedra começou a se escassear, então o homem passou a substituí-la pelo tijolo seco ao sol (CÂMARA, 2012).

De acordo com Júnior (1992) a alvenaria foi o principal método construtivo até meados do século XX, sendo o tijolo o mais antigo dos materiais de construção ainda em uso. Com o passar dos anos novas tecnologias de blocos foram desenvolvidas para melhor atender o mercado da construção civil. O tijolo maciço foi perdendo espaço com a criação do bloco cerâmico.

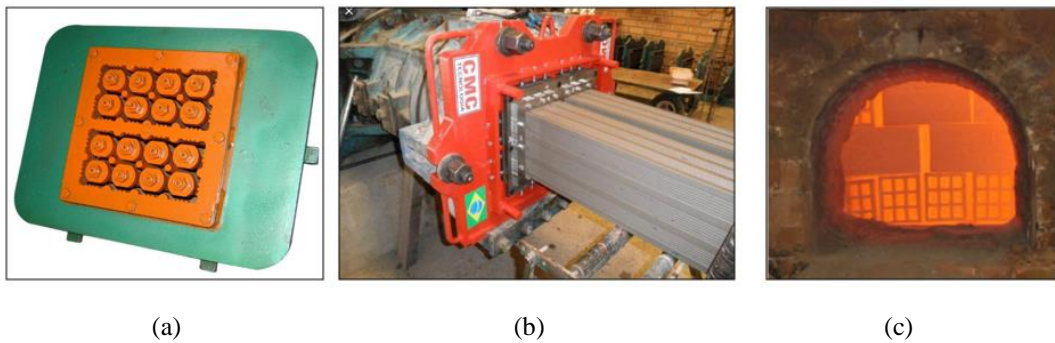
Atualmente, os blocos cerâmicos são massivamente utilizados em diversas construções e predomina mais na região Nordeste. Queimados em fornos artesanais e sem mudanças tecnológicas significativas em seu processo de produção, o bloco cerâmico continua sendo o principal componente das construções da referida região.

2.2.4.2 Produção dos Blocos

Enquanto no Nordeste a produção dos blocos ainda é de forma parcialmente artesanal, no sul e no sudeste do país existem uma variedade de blocos, inclusive blocos cerâmicos com função estrutural, e sistemas de produção mais controlado para garantir um produto de melhor qualidade e bom desempenho.

A matéria prima do bloco cerâmico é a argila que é prensada por uma máquina extrusora a qual contém um gabarito em sua ponta. A argila é pressionada a passar pelo gabarito formando um bloco, ainda fresco e de grande comprimento. Logo em seguida, uma linha com tempo cronometrado corta os blocos em comprimentos estabelecidos por normas. Depois, estes são levados a fornos a altas temperaturas. A Figura 9 mostra o processo descrito.

Figura 9: Processo de fabricação dos blocos cerâmicos: (a) gabarito do bico extrusor; (b) argila passando pelo gabarito; (c) blocos no forno para queima.



Fonte: Cegaza (2019)

No que se refere ao tijolo de solo e cimento, existe uma variedade deles, maciços com detalhes que os tornam mais eficazes e, vazados, que permitem a passagem de instalações elétricas e hidráulicas. Também conhecido como tijolos ecológicos, algumas pessoas optam por utilizá-los em suas edificações a fim de terem um processo construtivo mais sustentável e com menos custo.

Os materiais utilizados na fabricação dos tijolos de solo e cimento, são: solo, areia, cimento e água. A areia é em menor quantidade, pois o solo deve ser o principal material e o de maior quantidade. Após misturar os materiais citados, estes são conformados, Figura 10, com o auxílio de uma prensa e secos a sombra.

Figura 10: Fabricação de tijolos de solo e cimento: (a) solo e cimento sendo prensados; (b) tijolo prensado.



(a) (b)

Fonte: Amon (2019)

Conforme Fiais e Souza (2017) os tijolos ecológicos são assim chamados pelo fato de não necessitarem de fornos para a queima, e devido a isto não é preciso queimar madeira para curá-lo evitando desmatamento e emissões de gases poluentes na atmosfera.

Há também no mercado os blocos de concreto sem função estrutural, Figuras 11, os quais são indicados para os mais variados tipos de construção. São fabricados com uma mistura de cimento, água e areia, conformados numa forma metálica e secos a sombra.

Figura 11: Confeção dos blocos de concreto: (a) forma; (b) adensamento e conformação dos blocos; (c) cura dos blocos.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Maqblocos (2019)

De acordo com o portal Mapa da Obra (2017), proporcionam economia, produtividade e sustentabilidade no processo produtivo, resistência estrutural e maior rendimento no que tange a alvenaria, melhor produtividade e dispensa chapisco no revestimento.

2.2.4.3 Tipos de Blocos

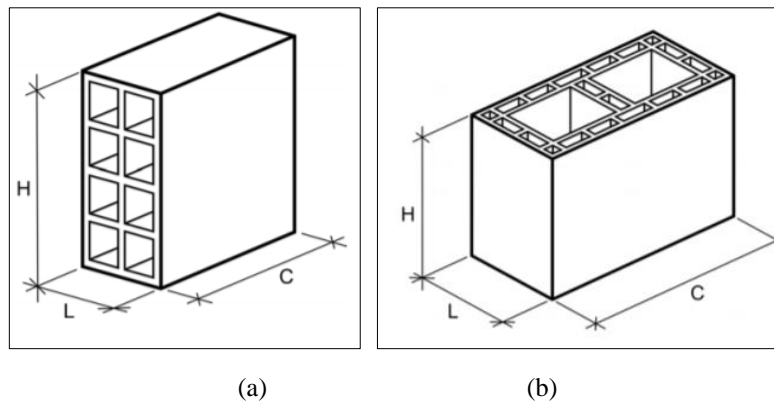
Dando continuidade, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem em seu catálogo normas para cada um dos blocos citados. A seguir, as normas são apresentadas juntamente com a geometria e algumas características dos blocos.

A NBR 15270-1, Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação, define que estes constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte.

O Código de Práticas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas da USP, determina que o bloco cerâmico com furos na horizontal, Figura 12 (a), tem que atingir uma resistência de no mínimo 1,5 MPa. No mais, as dimensões desses blocos são variadas, pois existem blocos com seis, oito e nove furos. Devido a essa particularidade, as dimensões de cada um variam. Na Figura 12, apresenta-se a geometria dos blocos citados.

Figura 12: (a) Geometria do bloco cerâmico para alvenaria de vedação com furos na horizontal; (b)

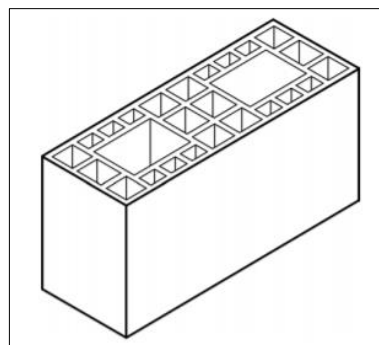
Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical.



Fonte: Adaptado da NBR 15270 (2017)

Por outro lado, a NBR 15270-2, estabelece que o bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas, Figura 13, é empregado na alvenaria estrutural não armada, armada e protendida e deve apresentar no mínimo 3,0 MPa de resistência a compressão simples.

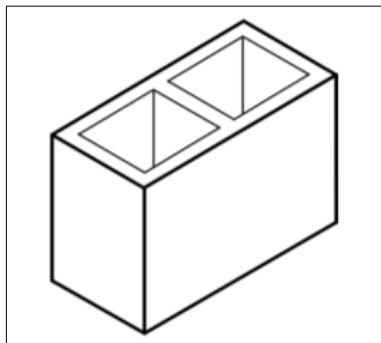
Figura 13: Bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas



Fonte: Adaptado da NBR 15270-2 (2017)

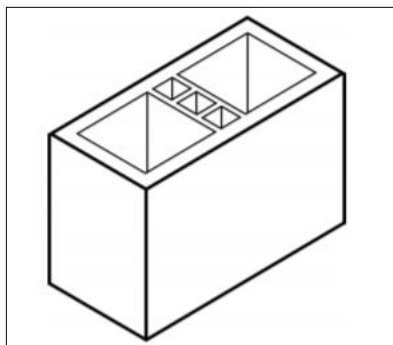
Esta mesma norma também aborda outros tipos de blocos com função estrutural. O bloco cerâmico estrutural com paredes maciças cujas paredes externas são maciças e as internas podem ser paredes maciças, Figura 14, ou vazadas, Figura 15, empregado na alvenaria estrutural não armada, armada e protendida.

Figura 14: Bloco cerâmico estrutural com paredes externas e internas maciças



Fonte: Adaptado da NBR 15270-2 (2017)

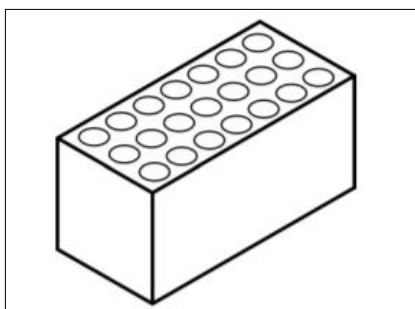
Figura 15: Bloco cerâmico estrutural com paredes maciças e paredes internas vazadas



Fonte: Adaptado da NBR 15270-2 (2017)

Há também o bloco cerâmico estrutural perfurado, Figura 16, cujos vazados são distribuídos em toda a sua face de assentamento, empregado na alvenaria estrutural não armada.

Figura 16: Bloco estrutural perfurado

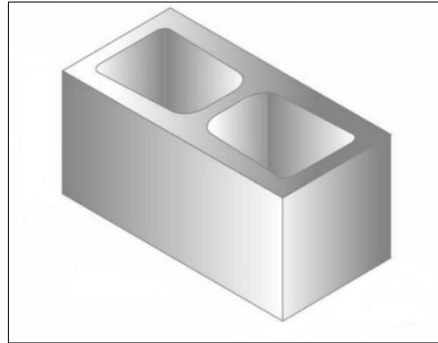


Fonte: Adaptado da NBR 15270-2 (2017)

Dando continuidade, dentro do nicho de blocos para vedação, também existem os blocos de concreto com e sem função estrutural. A NBR 6136 – Blocos Vazados de Concreto Simples, especifica que sem função estrutural, devem ter resistência a compressão maior ou igual a 3,0

MPa, enquanto com função estrutural, devem ter sua resistência mais elevada, no mínimo 8 MPa. As dimensões desses artefatos também são padronizadas, mas o comprimento, a altura e a largura variam de acordo com a classe escolhida. A Figura 17, exibe a geometria desse bloco.

Figura 17: Bloco vazado de concreto simples sem função estrutural



Fonte: GA blocos (2019)

Os tijolos de solo e cimento são constituídos de uma mistura homogênea de solo, cimento e água. Existe o tijolo maciço de solo e cimento, vários modelos, Figura 18, e o tijolo vazado com furos na vertical, Figura 19. A resistência a compressão simples que esses blocos devem possuir, tem que ser de no mínimo 1,5 MPa.

Figura 18: Tijolo maciço de solo e cimento



Fonte: Google imagens (2019)

Figura 19: Tijolo de solo e cimento vazado, tijolo canaleta e meio tijolo



Fonte: Adaptado de Manual prático de tijolos ecológicos (2019)

Há ainda os blocos canaletas que são artefatos de concreto ou de cerâmica. São utilizados em amarrações horizontais da obra e, também, na execução do alicerce, bem como em verga e contra-verga. Tais artefatos são vazados horizontalmente em forma de “U” para facilitar a passagem de barras de aço. Assim, a função principal das canaletas está em aperfeiçoar a execução da obra, tornando-a mais rápida e com menos desperdício. A seguir, na figura 20, apresenta-se alguns modelos.

Figura 20: (a) Canaleta do tipo J; (b) Canaleta graute; (c) Canaleta do tipo U



(a)

(b)

(c)

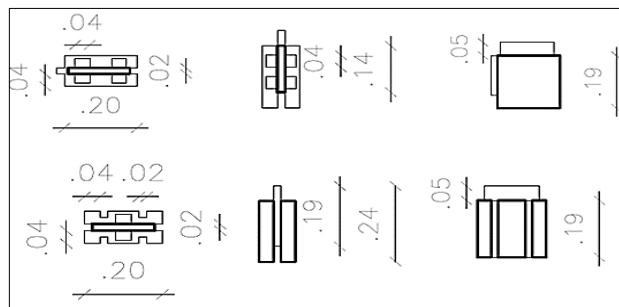
Fonte: Cerâmica Mifale (2019)

3. METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos fundamentaram-se na necessidade de blocos para alvenaria de vedação que se encaixassem em duas direções, facilitando a passagem das instalações elétricas e hidráulicas, levando-se em consideração que o modelo criado proporcionasse uma redução no consumo de argamassa, bem como que houvesse o mínimo de perda da alvenaria ao se realizar as instalações elétricas e hidráulicas.

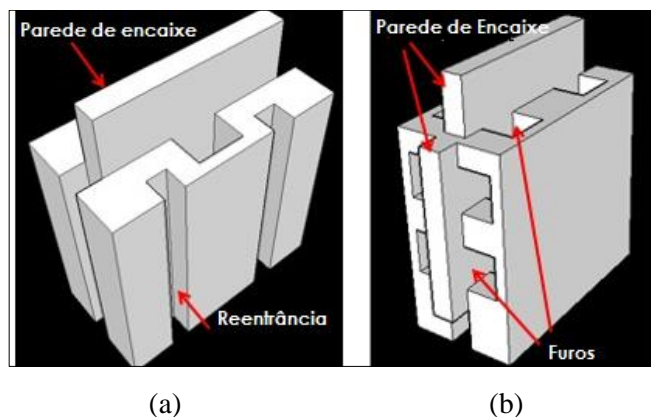
Desse modo, realizou-se pesquisas bibliográficas com ênfase nos blocos já existentes no mercado e para efeito de comparação, três dimensões diferentes foram escolhidas para que os estudos acerca deles, fossem o balizador dos novos blocos a serem desenvolvidos. Também foram estudados as perdas e os desperdícios que os blocos convencionais proporcionam a uma construção, como também no processo de fabricação dos mesmos para se chegar a um modelo que fosse mais sustentável. Assim, uma nova geometria foi desenvolvida, Figura 21 e 22, para atender as diretrizes acima citadas.

Figura 21: Modelo dos blocos com vista superior, frontal e lateral (medidas em metros)



Fonte: Autora (2020)

Figura 22: Geometria em 3D



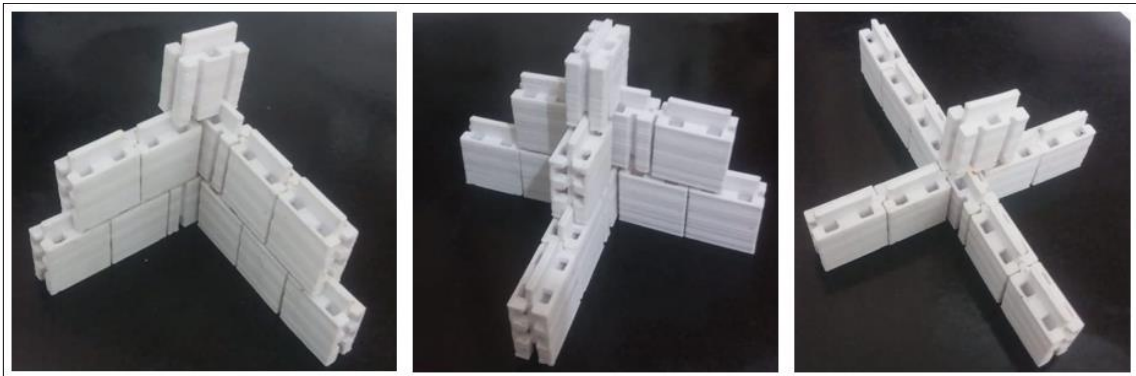
(a)

(b)

Fonte: Autora (2020)

Foram traçados vários croquis e protótipos buscando o desenvolvimento de uma boa geometria. Após uma pré-visualização do desenho, partiu-se para a construção de uma modelagem em 3D, conforme se apresenta na Figura 23, assim se deu forma ao modelo que possibilitou a montagem de amarrações em L, T e Cruz. Logo, para se fazer uma melhor análise dos encaixes entre os componentes, ambos foram impressos com o auxílio de uma impressora de modelagem tridimensional.

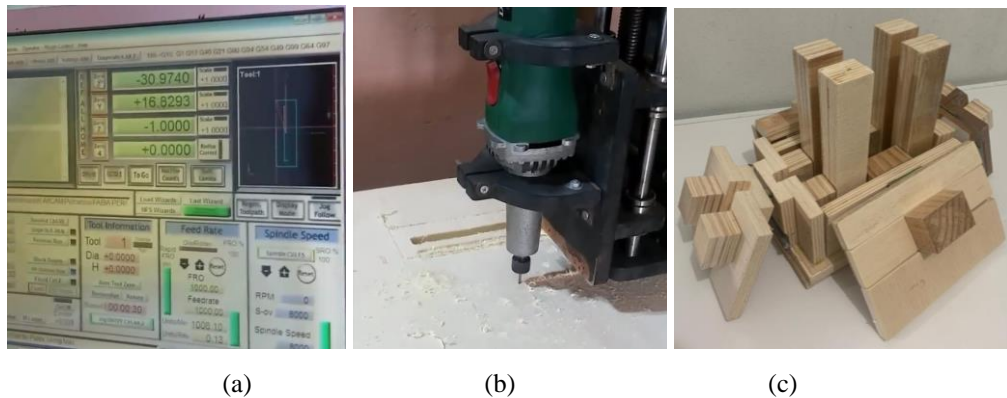
Figura 23: Amarrações em L, T e cruz



Fonte: Autora (2020)

Dando continuidade, após chegar ao modelo desejado, outro dimensionamento foi necessário para criar uma fôrma que atendesse aos dois blocos. Assim, foram modeladas duas fôrmas, sendo uma para cada bloco, sendo estas confeccionadas de chapas de madeira com espessura de 15 mm, cortadas com a máquina de Comando Numérico Computadorizado (CNC). Na Figura 24, é exibido o corte com o auxílio da máquina citada.

Figura 24: Corte da chapa de madeira: (a) tela de comando dos eixos x, y, z; (b) máquina executando o corte; (c) fôrma



Fonte: Autora (2020)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fundamentando-se nas considerações apresentadas até aqui, este capítulo apresenta uma comparação de custos dos insumos necessários para se construir 1 m² de alvenaria. Deste modo, para ter uma melhor noção acerca do quantitativo de materiais e do custo de uma alvenaria construída com o bloco modular, foram escolhidos, como parâmetro de comparação, três tipos mais usuais de blocos cerâmicos.

No trabalho de Matos e Dórea (1965) apresenta-se as equações para calcular a quantidade de blocos por m², bem como o volume de argamassa.

Para o número de blocos a Equação 1 referente é:

$$n = \frac{1}{(b_1 + e_h) \times (b_2 + e_v)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

n = quantidade de tijolos;

b_1 = comprimento do tijolo;

b_2 = altura do tijolo;

e_h = espessura horizontal da argamassa;

e_v = espessura vertical da argamassa.

E para o volume de argamassa, a Equação 2 é:

$$v = [1 - n \times (b_1 \times b_2)] \times b_3 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

v = volume de argamassa;

n = quantidade de tijolos;

b_1 = comprimento do tijolo;

b_2 = altura do tijolo;

b_3 = largura do tijolo.

Com base nessas equações e com as dimensões dos blocos (Tabela 1), juntamente com a espessura da junta (Tabela 2), encontram-se os números de blocos e, em seguida, os volumes de argamassa de assentamento (Tabela 3).

Tabela 1: Dimensões dos blocos para comparação dos custos

| Dimensões | Bloco modular | Bloco 1 | Bloco 2 | Bloco 3 |
|-----------------|---------------|---------|---------|---------|
| Largura (m) | 0,1 | 0,09 | 0,09 | 0,115 |
| Comprimento (m) | 0,2 | 0,19 | 0,19 | 0,19 |
| Altura (m) | 0,19 | 0,14 | 0,19 | 0,19 |

Fonte: Autora (2020)

Tabela 2: Espessuras das juntas de amarração

| Tipo de Junta | Bloco modular | Bloco 1 | Bloco 2 | Bloco 3 |
|---------------|---------------|---------|---------|---------|
| e_h (m) | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| e_v (m) | 0 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

Fonte: Autora (2020)

Tabela 3: Número de blocos (por m^2) e volume de argamassa (m^3/m^2)

| Descrição | Bloco modular | Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Número de blocos (por m^2) | 25,00 | 29,76 | 22,68 | 22,68 |
| Volume de argamassa (m^3/m^2) | 0,0050 | 0,0188 | 0,0163 | 0,0209 |

Fonte: Autora (2020)

Definido o volume de argamassa, em seguida, foi calculada a porcentagem da mesma, tendo como referencial (base) o bloco modular, valores apresentados na Tabela 4. Vale ressaltar que $e_v = 0$, na coluna do bloco modular, se deve ao fato de que, na vertical, a junta é seca e o artefato é encaixável, dispensando, assim, argamassa nessa face.

Tabela 4: Percentual de argamassa para os blocos convencionais em relação ao bloco modular

| Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 375,00% | 326,53% | 417,23% |

Fonte: Autora (2020)

Tendo analisado os resultados obtidos nos cálculos, é notado que o consumo de argamassa do bloco 2, que foi o bloco cerâmico de melhor rendimento, é mais que três vezes superior ao bloco modular. As porcentagens apresentadas por cada bloco se estendem por todas as etapas de construção, refletindo na quantidade de insumos de argamassa de assentamento (cimento; cal e areia) consumidos por metro quadrado de alvenaria e seus referentes custos.

Consultando o Caderno Técnico de Composições para Argamassas do SINAPI, Tabela 5, encontramos a seguinte composição para se preparar 1 m³ de argamassa de assentamento

Tabela 5: Composição Analítica de Serviço para 1 m³ de argamassa.

| Item | Códigos | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|--------------|---------|--|----------------|------------|----------------|-------------------|
| INSUMO | 370 | Areia Média - Posto jazida/fornecedor (retirado na jazida, sem transporte) | m ³ | 1,14 | R\$ 67,00 | R\$ 76,38 |
| INSUMO | 1106 | Cal Hidratada CH-I para argamassas | kg | 171,13 | R\$ 0,65 | R\$ 111,23 |
| INSUMO | 1379 | Cimento Portland Composto CP II-32 | kg | 192,52 | R\$ 0,48 | R\$ 92,41 |
| COMPOSIÇÃO | 88316 | Servente com encargos complementares | H | 11,1 | R\$ 12,95 | R\$ 143,75 |
| TOTAL | | | | | | R\$ 423,77 |

Fonte: SINAPI - Cadernos Técnicos do grupo: Argamassas, 2019 (Adaptado).

Com o valor para 1 m³ de argamassa definido, foi calculado o custo para erguer 1 m² de alvenaria com o bloco modular, Tabela 6, e o mesmo foi feito para o bloco 1, Tabela 7, bloco 2, Tabela 8 e bloco 3, Tabela 9.

Tabela 6: Composição Analítica de Serviço para 1 m² de alvenaria-Bloco Modular

| Item | Código | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|--------------|--------|--------------------------------------|----------------|------------|----------------|------------------|
| I | 87369 | Argamassa traço 1:2:8 | m ³ | 0,0050 | R\$ 423,77 | R\$ 2,12 |
| I | - | Bloco modular | UN | 25,00 | R\$ - | R\$ - |
| C | 88309 | Pedreiro com encargos complementares | H | 1,927 | R\$ 16,57 | R\$ 31,93 |
| C | 88316 | Servente com encargos complementares | H | 0,964 | R\$ 12,95 | R\$ 12,48 |
| TOTAL | | | | | | R\$ 46,53 |

Fonte: SINAPI - Cadernos Técnicos do grupo: Argamassas, 2019 (Adaptado).

Tabela 7: Composição Analítica de Serviço para 1 m² de alvenaria-Bloco 1(9x14x19 cm)

| Item | Código | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|--------------|--------|--------------------------------------|----------------|------------|----------------|------------------|
| I | 87369 | Argamassa traço 1:2:8 | m ³ | 0,0188 | R\$ 423,77 | R\$ 7,95 |
| I | 87524 | Bloco 1 (9x14x19 cm) | UN | 29,76 | R\$ 0,50 | R\$ 14,88 |
| C | 88309 | Pedreiro com encargos complementares | H | 1,927 | R\$ 16,57 | R\$ 31,93 |
| C | 88316 | Servente com encargos complementares | H | 0,964 | R\$ 12,95 | R\$ 12,48 |
| TOTAL | | | | | | R\$ 67,24 |

Fonte: SINAPI - Cadernos Técnicos do grupo: Argamassas, 2019 (Adaptado).

Tabela 8: Composição Analítica de Serviço para 1 m² de alvenaria-Bloco 2 (9x19x19 cm)

| Item | Código | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|--------------|--------|--------------------------------------|----------------|------------|----------------|------------------|
| I | 87369 | Argamassa traço 1:2:8 | m ³ | 0,0163 | R\$ 423,77 | R\$ 6,92 |
| I | 87520 | Bloco 2 (9x19x19 cm) | UN | 22,68 | R\$ 0,89 | R\$ 20,18 |
| C | 88309 | Pedreiro com encargos complementares | H | 1,927 | R\$ 16,57 | R\$ 31,93 |
| C | 88316 | Servente com encargos complementares | H | 0,964 | R\$ 12,95 | R\$ 12,48 |
| TOTAL | | | | | | R\$ 71,51 |

Fonte: SINAPI - Cadernos Técnicos do grupo: Argamassas, 2019 (Adaptado).

Tabela 9: Composição Analítica de Serviço para 1 m² de alvenaria-Bloco 3 (11,5x19x19 cm)

| Item | Código | Descrição | Unidade | Quantidade | Preço Unitário | Preço Total |
|--------------|--------|--------------------------------------|----------------|------------|----------------|------------------|
| I | 87369 | Argamassa traço 1:2:8 | m ³ | 0,0209 | R\$ 423,77 | R\$ 8,84 |
| I | 87522 | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) | UN | 22,68 | R\$ 1,40 | R\$ 31,75 |
| C | 88309 | Pedreiro com encargos complementares | H | 1,927 | R\$ 16,57 | R\$ 31,93 |
| C | 88316 | Servente com encargos complementares | H | 0,964 | R\$ 12,95 | R\$ 12,48 |
| TOTAL | | | | | | R\$ 85,00 |

Fonte: SINAPI - Cadernos Técnicos do grupo: Argamassas, 2019 (Adaptado).

Com os coeficientes mostrados na Tabela 5, foram calculadas as quantidades necessárias, por tipo de bloco, de insumos e mão de obra (servente) para preparar o volume de argamassa por m² de alvenaria, multiplicando os coeficientes pelos volumes de argamassa consumidos por cada bloco (Tabela 3). Valores exibidos na Tabela 10.

Tabela 10: Quantidade de insumos e mão de obra por bloco

| Insumos | Bloco modular | Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|-------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Servente (H) | 0,055 | 0,208 | 0,181 | 0,232 |
| Cimento Portland CP-II (kg) | 0,963 | 3,610 | 3,143 | 4,016 |
| Cal Hidratada CH-I (kg) | 0,856 | 3,209 | 2,794 | 3,570 |
| Areia Média (m ³) | 0,006 | 0,021 | 0,019 | 0,024 |

Fonte: Autora (2020)

Utilizando os seguintes preços, baseados no Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB) do Estado de Alagoas (exceto a cal) e as composições do SINAPI, ano 2020: R\$ 24,00 para o saco de cimento com 50 kg; R\$ 13,00 para o saco de cal com 20 kg; R\$ 67,00 para o m³ de areia e R\$ 12,95 para a hora do servente, temos os resultados analíticos apresentados nas Tabelas 11, 12, 13 e 14, e a síntese destes na Tabela 15.

Tabela 11: Composição de custo unitário: Bloco Modular

| <i>Volume de argamassa (m³):</i> | | 0,0050 | | |
|---|----------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| INSUMO | UNIDADE | ÍNDICE | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO TOTAL |
| Servente com encargos | h | 11,1 | R\$ 12,95 | R\$ 0,72 |
| Cimento Portland CP-II | kg | 192,52 | R\$ 0,48 | R\$ 0,46 |
| Cal Hidratada CH-I | kg | 171,13 | R\$ 0,65 | R\$ 0,56 |
| Areia Média | m ³ | 1,14 | R\$ 67,00 | R\$ 0,38 |
| TOTAL | | | | R\$ 2,12 |

Fonte: Autora (2020)

Tabela 12: Composição de custo unitário: Bloco 1 (9x14x19 cm)

| <i>Volume de argamassa (m³):</i> | | 0,0188 | | |
|---|----------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| INSUMO | UNIDADE | ÍNDICE | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO TOTAL |
| Servente com encargos | h | 11,1 | R\$ 12,95 | R\$ 2,70 |
| Cimento Portland CP-II | kg | 192,52 | R\$ 0,48 | R\$ 1,73 |
| Cal Hidratada CH-I | kg | 171,13 | R\$ 0,65 | R\$ 2,09 |
| Areia Média | m ³ | 1,14 | R\$ 67,00 | R\$ 1,43 |
| TOTAL | | | | R\$ 7,95 |

Fonte: Autora (2020)

Tabela 13: Composição de custo unitário: Bloco 2 (9x19x19 cm)

| <i>Volume de argamassa (m³):</i> | | 0,0163 | | |
|---|----------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| INSUMO | UNIDADE | ÍNDICE | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO TOTAL |
| Servente com encargos | h | 11,1 | R\$ 12,95 | R\$ 2,35 |
| Cimento Portland CP-II | kg | 192,52 | R\$ 0,48 | R\$ 1,51 |
| Cal Hidratada CH-I | kg | 171,13 | R\$ 0,65 | R\$ 1,82 |
| Areia Média | m ³ | 1,14 | R\$ 67,00 | R\$ 1,25 |
| TOTAL | | | | R\$ 6,92 |

Fonte: Autora (2020)

Tabela 14: Composição de custo unitário: Bloco 3 (11,5x19x19 cm)

| <i>Volume de argamassa (m³):</i> | | 0,0209 | | |
|---|----------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| INSUMO | UNIDADE | ÍNDICE | CUSTO UNITÁRIO | CUSTO TOTAL |
| Servente com encargos | h | 11,1 | R\$ 12,95 | R\$ 3,00 |
| Cimento Portland CP-II | kg | 192,52 | R\$ 0,48 | R\$ 1,93 |
| Cal Hidratada CH-I | kg | 171,13 | R\$ 0,65 | R\$ 2,32 |
| Areia Média | m ³ | 1,14 | R\$ 67,00 | R\$ 1,59 |
| TOTAL | | | | R\$ 8,84 |

Fonte: Autora (2020)

Tabela 15: Custo de insumos por m² de alvenaria por tipo de bloco

| Insumos | Bloco modular | Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Servente | R\$ 0,72 | R\$ 2,70 | R\$ 2,35 | R\$ 3,00 |
| Cimento Portland CP-II | R\$ 0,46 | R\$ 1,73 | R\$ 1,51 | R\$ 1,93 |
| Cal Hidratada CH-I | R\$ 0,56 | R\$ 2,09 | R\$ 1,82 | R\$ 2,32 |
| Areia Média | R\$ 0,38 | R\$ 1,43 | R\$ 1,25 | R\$ 1,59 |
| TOTAL | R\$ 2,12 | R\$ 7,95 | R\$ 6,92 | R\$ 8,84 |

Fonte: Autora (2020)

À vista dos valores apresentados para cada insumo, é evidente que o custo do m² de uma alvenaria apresenta-se maior para os blocos convencionais.

Um estudo de Costa; Júnior e Medeiros (2019), investigou duas formas de aplicação de argamassa: a convencional e com um assentador de argamassa, Figura 25. Constatou-se que a primeira resulta em imprecisão acerca da espessura, bem como um maior desperdício dela, enquanto a segunda reduz a quantidade de material utilizado em 80% do aglomerado, propiciando redução do tempo para realização do serviço e mais economia.

Os autores usaram dados da tabela SINAPI de insumo e composições, para 1 m² de alvenaria, levando em consideração apenas a argamassa de assentamento e a mão de obra, sendo R\$ 4,48 da argamassa e R\$ 14,50 da mão de obra, com a seguinte equação: Custo do assentamento de bloco = argamassa + mão de obra.

Figura 25: Aplicador de argamassa



Fonte: Argafast (2020)

Logo, observaram que a técnica convencional de assentamento resultou um custo de R\$ 18,98 por m² de alvenaria assentada, já com o uso do assentador de argamassa o custo foi de R\$ 8,15 por m². De acordo com o estudo, nota-se que houve uma economia considerável e uma redução no consumo de argamassa apenas com uma alteração na forma de dispô-la sobre os blocos e, levando em consideração uma nova geometria de blocos, a exemplo dos blocos modulares apresentados nesse trabalho, que necessitam de argamassa apenas na direção horizontal, onde a aplicação da argamassa será com o auxílio de uma bisnaga, o custo é ainda menor, equivalente a R\$ 2,12 por m² de alvenaria, conforme os dados apresentados na Tabela 11.

Desse modo, para se ter uma melhor noção dos custos para erguer uma alvenaria foi elaborado uma planta baixa de uma residência com pé direito determinado e comparou-se os resultados obtidos ao final.

4.1 Discussão da aplicação dos resultados apresentados nas tabelas em um projeto de uma residência unifamiliar

Far-se-á uma análise comparativa aplicada à construção de uma residência padrão popular, Figura 26, a fim de verificar a economia proporcionada pelo bloco modular. Será levado em consideração, para esse estudo de caso, apenas o custo da produção da argamassa de assentamento para erguer toda a alvenaria da edificação.

Figura 26: Planta baixa de uma residência popular



Fonte: Autora (2020)

4.1.1 Cálculo do comprimento total de alvenaria de vedação

Foi calculado o perímetro (comprimento linear) de cada cômodo, excluindo a repetição das paredes que servem de divisão para dois cômodos, e depois somou-se todos os valores, obtendo o resultado de 54,80 m. A Tabela 16 apresenta os cômodos da residência e suas dimensões internas.

Tabela 16: Cômodos e suas dimensões internas

| CÔMODO | L1 (m) | L2 (m) |
|---------------|---------------|---------------|
| SALA | 3,25 | 3,50 |
| WC | 1,20 | 2,20 |
| COZINHA | 3,25 | 4,30 |
| QUARTO 1 | 3,25 | 3,50 |
| QUARTO 2 | 3,00 | 3,25 |
| QUARTO 3 | 2,50 | 3,25 |

Fonte: Autora (2020)

4.1.2 Cálculo da área total de alvenaria de vedação

Para o cálculo da área total de alvenaria, multiplicou-se o comprimento linear total de alvenaria pela sua altura (utilizando um pé direito de 3,00 m), resultando em 164,40 m², valores exibidos na Tabela 17.

Tabela 17: Perímetro total, pé direito e área total de alvenaria

| | |
|--|--------|
| PERÍMETRO TOTAL (m) | 54,80 |
| PÉ DIREITO (m) | 3,00 |
| ÁREA TOTAL DA ALVENARIA (m²) | 164,40 |

Fonte: Autora (2020)

4.1.3 Cálculo da área total das aberturas

A residência possui 6 janelas, sendo 5 medindo 1,00 m x 1,00 m e 1 medindo 0,60 m x 0,60 m; e 6 portas, sendo 5 medindo 0,80 m x 2,10 m e 1 medindo 0,60 m x 2,10 m. Para as portas, considerou-se a abertura total, incluindo a espessura da “forra”. A área total das aberturas está descrita na Tabela 18.

Tabela 18: Área total das portas e janelas

| DESCRIÇÃO | LARGURA (m) | ALTURA (m) | QUANTIDADE | ÁREA (m ²) |
|--|-------------|------------|------------|------------------------|
| JANELAS | 1,00 | 1,00 | 5 | 5,00 |
| JANELA WC | 0,60 | 0,60 | 1 | 0,36 |
| PORTAS | 0,86 | 2,13 | 5 | 9,16 |
| PORTA WC | 0,66 | 2,13 | 1 | 1,41 |
| ÁREA TOTAL DOS VÃOS (m²) | | | | 15,92 |

Fonte: Autora (2020)

4.1.4 Cálculo da área total líquida de alvenaria de vedação

Para o cálculo da área total líquida de alvenaria, descontou-se da área total a área das aberturas, tendo como resultado 148,48 m² de alvenaria de vedação. A Tabela 19 apresenta os resultados de todas as áreas.

Tabela 19: Área total de alvenaria, área total das aberturas e área total líquida de alvenaria

| | |
|--|--------|
| ÁREA TOTAL DE ALVENARIA (m²) | 164,40 |
| ÁREA TOTAL DAS ABERTURAS (m²) | 15,92 |
| ÁREA TOTAL LÍQUIDA DE ALVENARIA (m²) | 148,48 |

Fonte: Autora (2020)

4.1.5 Cálculo do número de blocos e volume de argamassa para cada tipo apresentado

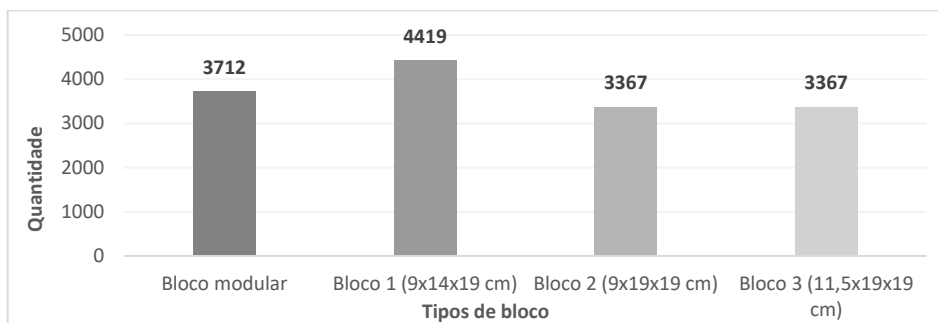
Para o cálculo da quantidade de blocos que serão necessários para construir a residência, bem como o volume de argamassa, utilizou-se os resultados da Tabela 3, multiplicando-os pelo valor da área total líquida de alvenaria. Os valores estão descritos na Tabela 20 e apresentados nos Gráficos 1 e 2, para uma melhor comparação.

Tabela 20: Quantidade de blocos e volume de argamassa para cada tipo de bloco utilizado

| Descrição | Bloco modular | Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|---------------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Nº de blocos | 3712 | 4419 | 3367 | 3367 |
| Volume de Argamassa (m ³) | 0,74 | 2,78 | 2,42 | 3,10 |

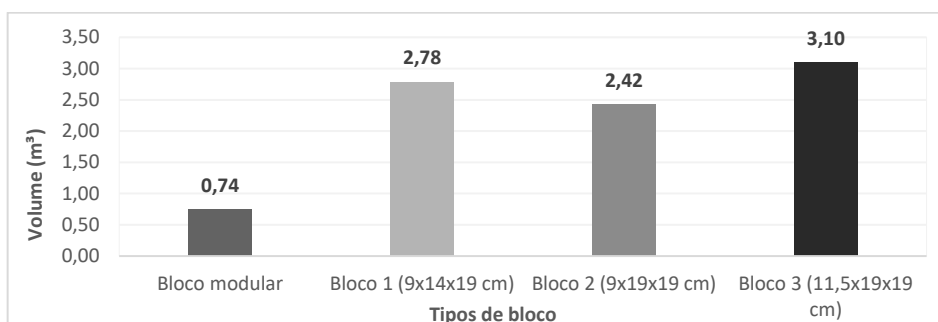
Fonte: Autora (2020)

Gráfico 1: Quantidade de blocos para cada tipo de bloco utilizado



Fonte: Autora (2020)

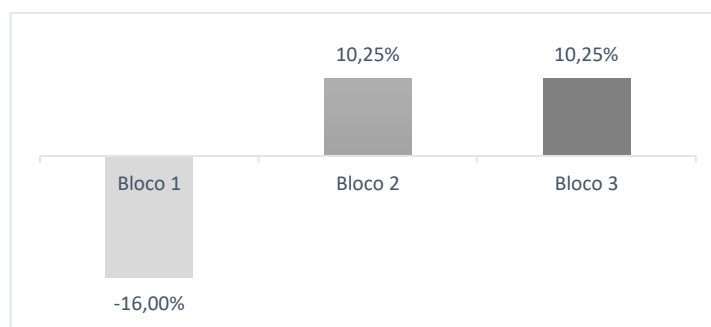
Gráfico 2: Volume de argamassa para cada tipo de bloco utilizado



Fonte: Autora (2020)

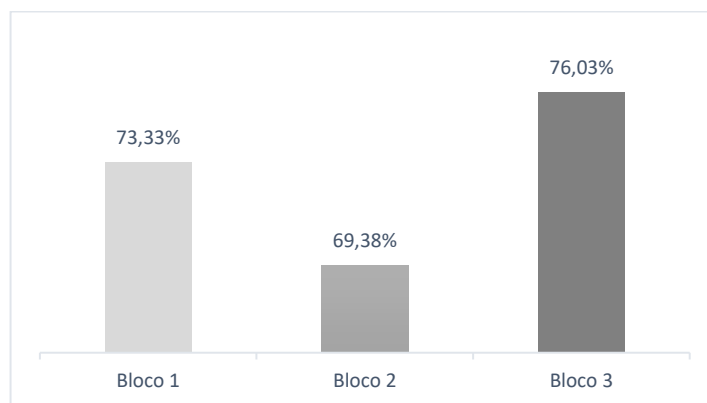
É notado que o bloco modular oferece uma redução de 16,00% no consumo de blocos em relação ao bloco 1 e um aumento de 10,25% em relação aos blocos 2 e 3, valores exibidos no Gráfico 3. Em contrapartida, é perceptível que o volume de argamassa consumida oferece uma drástica redução de 73,33% em comparação com o bloco 1, 69,38% em comparação com o bloco 2 e 76,03% ao compará-lo com o bloco 3, como é apresentado no Gráfico 4. Evidenciando assim, economia da alvenaria. Sendo que o cimento e areia são os insumos mais consumidos em obra.

Gráfico 3: Consumo de blocos do tipo modular em relação aos demais blocos



Fonte: Autora (2020)

Gráfico 4: Economia de argamassa do bloco modular em relação aos demais blocos



Fonte: Autora (2020)

Após isso, multiplicou-se o volume de argamassa consumido por cada bloco pelos coeficientes dos insumos e composição (Tabela 6), resultando nas quantidades apresentadas na Tabela 21.

Tabela 21: Quantidade de insumos e mão de obra para produzir a argamassa

| Descrição | Bloco modular | Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|-----------------------------|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Servente com encargos (H) | 8,24 | 30,90 | 26,91 | 34,38 |
| Cimento Portland CP-II (kg) | 142,92 | 535,96 | 466,68 | 596,32 |
| Cal Hidratada CH-I (kg) | 127,04 | 476,41 | 414,83 | 530,07 |
| Areia Média (m³) | 0,85 | 3,17 | 2,76 | 3,53 |

Fonte: Autora (2020)

Como o cimento CP-II e a cal hidratada CH-I são vendidos em sacos de 50 kg e 20 kg, respectivamente, foi montada a Tabela 22, com a quantidade de sacos referentes a cada dimensão de bloco.

Tabela 22: Quantidade de sacos de cimento e cal hidratada para produzir a argamassa

| Descrição | Bloco modular | Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|--------------------------|---------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Sacos de cimento (50 kg) | 2,86 | 10,72 | 9,33 | 11,93 |
| Sacos de cal (20 kg) | 6,35 | 23,82 | 20,74 | 26,50 |

Fonte: Autora (2020)

Assim, podemos calcular o custo unitário, o custo total e o custo total com 10% de perda, discriminados na Tabela 23 e exibidos no Gráfico 6, utilizando os mesmos preços apresentados anteriormente: R\$ 24,00 para o saco de cimento com 50 kg; R\$ 13,00 para o saco de cal com 20 kg; R\$ 67,00 para o m³ de areia e R\$ 12,95 para a hora do servente.

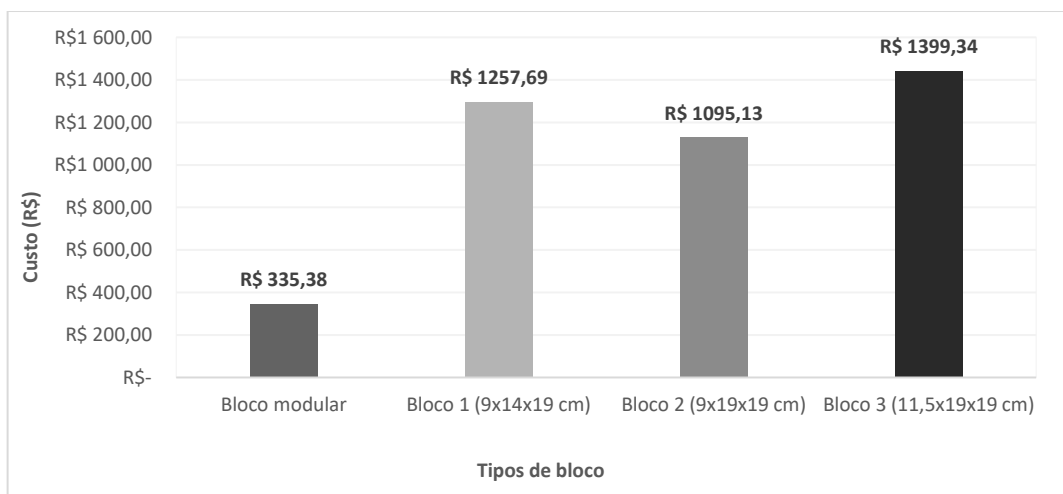
Tabela 23: Custo total para a argamassa de assentamento da residência

| Descrição | Bloco modular | Bloco 1 (9x14x19 cm) | Bloco 2 (9x19x19 cm) | Bloco 3 (11,5x19x19 cm) |
|--------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| Servente com encargos | R\$ 106,71 | R\$ 400,17 | R\$ 348,45 | R\$ 445,24 |
| Cimento Portland CP-II | R\$ 68,60 | R\$ 257,26 | R\$ 224,01 | R\$ 286,23 |
| Cal Hidratada CH-I | R\$ 82,58 | R\$ 309,67 | R\$ 269,64 | R\$ 344,54 |
| Areia Média | R\$ 56,70 | R\$ 212,64 | R\$ 185,15 | R\$ 236,58 |
| TOTAL | R\$ 314,60 | R\$ 1 179,74 | R\$ 1 027,25 | R\$ 1 312,60 |
| TOTAL Com 10% de perda* | R\$ 335,38 | R\$ 1 257,69 | R\$ 1 095,13 | R\$ 1 399,34 |

*Custo do servente não incluso nos 10% a mais

Fonte: Autora (2020)

Gráfico 5: Custo total com 10% de perda



Fonte: Autora (2020)

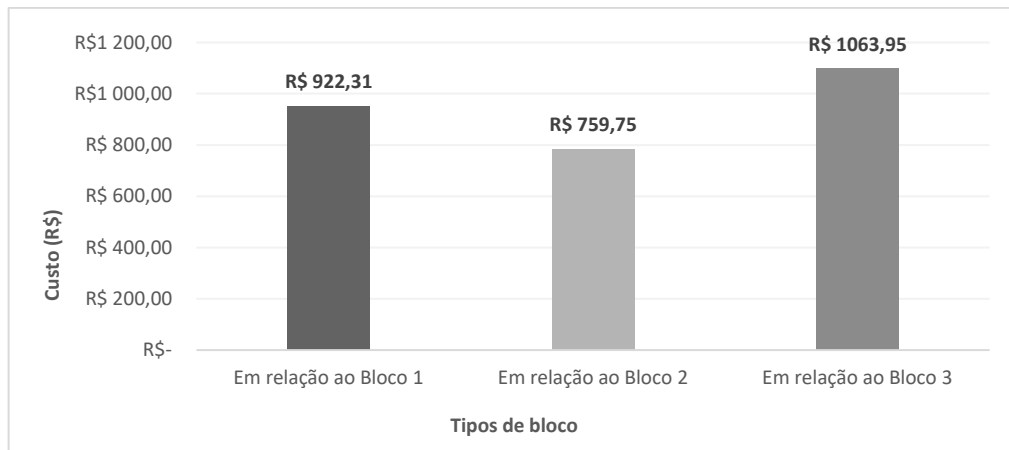
Diante de todo exposto, percebe-se que os blocos cerâmicos apresentaram valores superiores no orçamento final em comparação ao bloco modular. Essa diferença de valores representa a economia gerada, Tabela 24, ao utilizar o bloco modular e, para uma melhor apresentação e comparação desses valores, foi elaborado o Gráfico 6.

Tabela 24: Economia Total do bloco modular

| ECONOMIA DO BLOCO MODULAR | |
|----------------------------------|--------------|
| Em relação ao Bloco 1 | R\$ 922,31 |
| Em relação ao Bloco 2 | R\$ 759,75 |
| Em relação ao Bloco 3 | R\$ 1 063,95 |

Fonte: Autora (2020)

Gráfico 6: Economia Total do bloco modular

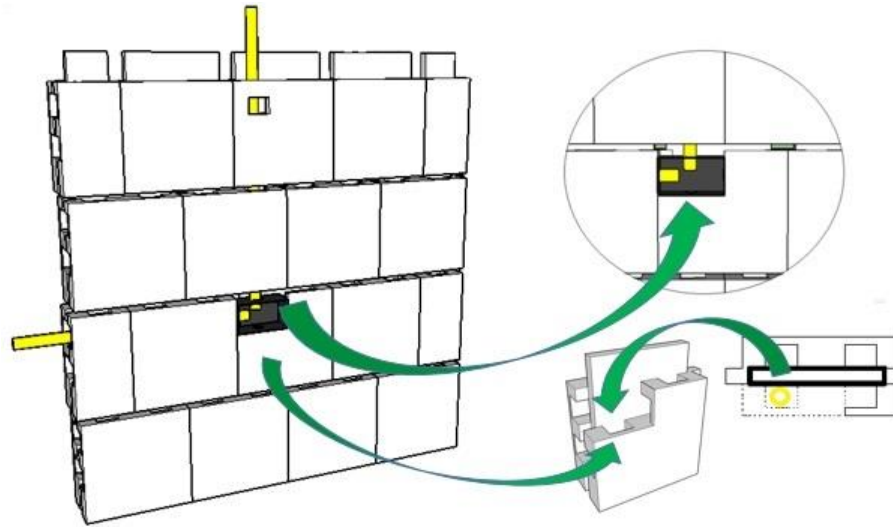


Fonte: Autora (2020)

À luz do que foi apresentado, fica evidente que os blocos cerâmicos convencionais possuem elevado consumo de argamassa e conseqüentemente o custo da obra. A economia apresentada no Gráfico 07 pode parecer pequena se comparada ao que é gasto numa obra em particular, mas, supondo que serão construídos dois conjuntos habitacionais, “A” e “B”, compostos por 50 residências cada um. No conjunto “A”, será utilizado o bloco modular, onde o custo total da argamassa para assentamento sairia por R\$ 16.769,00; enquanto, no conjunto “B”, o bloco 01 (9x14x19 cm) apresentaria um custo de R\$ 62.884,50; o que representa um valor em torno de quatro vezes maior que o modular.

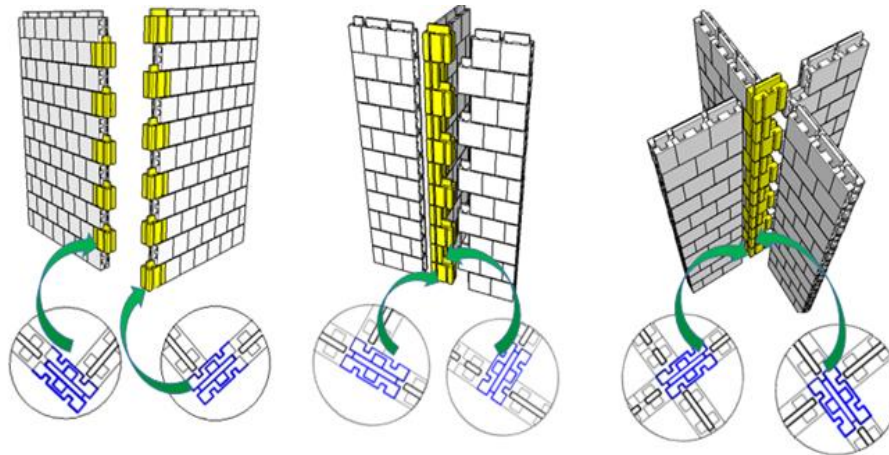
Diante da comparação feita acima, fica evidenciado que os blocos modulares proporcionam, de fato, uma economia muito vantajosa e ainda possibilitam considerável diminuição nas perdas e desperdícios, pois sua geometria foi pensada para que não haja a necessidade de efetuar os habituais rasgos para a introdução das instalações na parede, Figura 27. Eles também proporcionam encaixes nas duas direções (eixos x e y) e suas respectivas amarrações em “L, T e Cruz”, tornando a alvenaria mais rija e ajudando em seu enquadramento. A Figura 28 mostra como são os encaixes dos blocos e a acomodação das instalações.

Figura 27: Detalhes da Instalação Elétrica



Fonte: Autora (2020)

Figura 28: Detalhes das amarrações em L, T e Cruz.



Fonte: Autora (2020)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A questão da sustentabilidade na construção civil vai muito além de modelos de gestão que visam diminuir as perdas de materiais no canteiro de obra. Obviamente, são fundamentais, mas também é importante criar produtos que facilitem a mão de obra. No caso da alvenaria de vedação, há décadas, o método construtivo empregado nas obras permanece o mesmo, praticamente inalterado, onde os tijolos são empilhados com amarração de fiadas sem qualquer melhoria, tanto na fabricação quanto na forma.

Os avanços tecnológicos apresentam transformações em vários setores, um deles é a construção civil. Visando diminuir os custos nas obras, tais transformações se tornam ainda mais urgentes. Desta forma, é indispensável a busca por elementos construtivos que utilizem os conceitos da coordenação modular, voltados para a redução da geração de resíduos, conciliando rapidez e baixo custo de execução com bom desempenho e qualidade superior ou igual aos convencionais. Com efeito, os conceitos da coordenação modular aplicados na concepção de novos componentes construtivos para vedação, com ênfase no processo de montagem, possibilitam simplificar e uniformizar as etapas de construção, e como consequência, permitem construir de forma mais organizada e precisa, com menos desperdícios e erros.

A proposta apresentada neste trabalho surge como uma alternativa viável para alvenaria de vedação, tendo como vantagens: fácil aplicabilidade; redução de perdas no canteiro de obras; diminuição do consumo de argamassas e facilidade nas instalações elétricas.

A não necessidade de juntas verticais para o levantamento de alvenaria de vedação é o fator principal, dessa proposta de blocos modulares, responsável por influenciar na redução do consumo de argamassa e, conseqüente, economia gerada, economia essa de no mínimo 226,53% (considerando o assentamento dos blocos), em comparação com o bloco usual (o bloco 2) que apresentou melhor rendimento entre os demais; ficando o m² de alvenaria R\$ 6,92 para bloco 2 contra R\$ 2,12 para o bloco modular, como foi calculado no item 4 e, para a residência utilizada no estudo de caso, os custos totais para o bloco 2 e bloco modular foram, respectivamente, R\$ 1095,13 e R\$ 335,38.

O uso dos blocos permite, também, a compatibilização com projetos, já que as dimensões dos blocos apresentados são as mesmas dos blocos cerâmicos mais utilizados nas construções do Brasil. Entretanto, ressalta-se que para essa proposta cumprir com as condições para o qual foi projetada, os materiais aplicados devem ser adequados para que as propriedades mecânicas dos blocos não sejam afetadas. Assim, entende-se que mais estudos são necessários para chegar a resultados específicos.

Portanto, como sugestão para realização de novos estudos, propõe-se a confecção de protótipos para avaliar o desempenho de possíveis construções com os referidos blocos. Com isso, compreende-se que será possível obter informações mais detalhadas referentes à proposta aqui exposta.

REFERÊNCIAS

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

_____. **ABNT NBR. 15270**: Blocos Cerâmicos para Alvenaria de Vedação. Rio de Janeiro: Abnt, 2005

_____. **ABNT NBR 15270-2**: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: Abnt, 2005.

_____. **ABNT NBR. 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AGOPYAN, V; ANDRADE, A. C.; PALIARI, J. C.; SOUZA, U. E. L. Os valores das perdas de materiais nos canteiros de obras do Brasil. Congresso Latino Americano Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Depto de Engenharia de Construção Civil – PCC-USP. 1998.

AMON. **Fabricação de Tijolos de Solo e Cimento**. Disponível em: <<https://www.amon.com.br/sustentabilidade/tijolo-solo-cimento.html>>. 2010.

AZUMA, F. **Uma contribuição através de um sistema CAD baseado na web para aplicação da coordenação modular nas habitações de interesse social**. 2008. 256 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia.

BARBOZA, A. S. R. et al. **A técnica da coordenação modular como ferramenta diretiva de projeto**. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p.97-109, 26 out. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v11n2/a07v11n2>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

BALDAUF, A.S.F. Contribuição à implementação da Coordenação Modular da construção no Brasil. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4885/000416640.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 03 Fev. 2016.

BORNIA, A. C. *Análise gerencial de custos: aplicação em empresas modernas*, 3ª ed. Atlas, São Paulo, 2010.

BRASIL NÃO CONSEGUE DAR O DESTINO ADEQUADO PARA RESÍDUOS. São Paulo: Ciência e Cultura, v. 70, 02 abr. 2018. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252018000200005&script=sci_arttext>. Acesso em: 31 out. 2019.

BREGATTO, P. R. **Coordenação Modular.** 2008. Disponível em: <<http://bregatto.blogspot.com/2008/09/coordenao-modular-parte-i.html>>. Acesso em: 31 out. 2019.

CÂMARA, C. F. **Estudos e Propriedades Mecânicas de um novo tipo de Bloco Cerâmico "HÍBRIDO" para Edificações em Alvenarias Estruturais.** 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

CANTÍDIO, Sandro. **Manufatura enxuta (Lean Manufacturing).** 2009. Disponível em: <<https://sandrocan.wordpress.com/tag/eiji-toyoda/>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. **Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas.** 2014.

CERÂMICA CEGAZA. *Fabricação de Blocos Cerâmicos.* 2013. Disponível em: <<http://cegaza.com.br/>>. 2013.

COSTA, M. M.; JUNIOR, C. J. M.; MEDEIROS, D. L. **Produção mais limpa da construção civil: O caso da alvenaria de blocos cerâmico e bloco de concreto.** possibilidades de estudo de artefatos de museu. 2019. Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/siintec2019/39.pdf>>. Acesso em: 16 Mar. 2021.

CUSTO UNITÁRIO BÁSICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM ALAGOAS-CUB. 2020. Disponível em: <http://arquivos.sindicatodaindustria.com.br/app/cni_sindicatos/2011/01/10/123/20200210160026495333a.pdf>. Acesso em: 28 de dez 2020.

FEDERAL, Caixa Econômica. SINAPI – CADERNOS TÉCNICOS DE COMPOSIÇÕES PARA Argamassas. Brasil, Governo Federal. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote1-habitacao-fundacoes-estruturas/SINAPI_CT_MT1_ARGAMASSAS_v001.pdf>. Acesso em: 28 de dez 2020.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Dicionário Aurélio. In: FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 5. ed. Positivo, 2018. p. 1-2272.

FERREIRA, D.; GUERRA, P.; DINIS, R. **PROPOSTA DE APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE CONSTRUÇÃO ENXUTA NA OBRA DE INFRAESTRUTURA DO AEROPORTO INTERNACIONAL**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2015, Rio de Janeiro.

FIAIS, B. B.; SOUZA, D.S. CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL COM TIJOLO ECOLÓGICO SUSTAINABLE CONSTRUCTION WITH ECOLOGICAL BRICK. **Revista Engenharia em Ação**, Araçatuba, v. 02, n. 01, p.94-108, ago. 2017. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/380568770/2559-3253-1-PB>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

GROHMANN, M. Z.; Redução do desperdício na construção civil: levantamento das medidas utilizadas pelas empresas de santa maria. 1997. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1998_art302.pdf>. Acesso em: 30 dez 2019.

HIROTA, E. H.; FORMOSO, C. T. **O PROCESSO DE APRENDIZAGEM NA TRANSFERÊNCIA DOS CONCEITOS E PRINCÍPIOS DA PRODUÇÃO ENXUTA PARA A CONSTRUÇÃO**. 2000. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/36341611-O-processo-de-aprendizagem-na-transferencia-dos-conceitos-e-principios-da-producao>>

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **ALVENARIA DE VEDAÇÃO EM BLOCOS CERÂMICOS**: Código de Práticas n° 01. São Paulo: Ipt, 2009. 72 p. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3298513/mod_resource/content/0/113-Codigo_de_Praticas_n_01.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2019.

JUNGLES, A. E.; NOVAIS, S. G.; OLIVEIRA, P. V. H.; SAGAVE, A. M. Análise do desperdício de materiais na fase de revestimento. I SIBRAGEQ, Recife, 1999, p. 430-439.

LORENZON, I. A.; MARTINS, R. A. **Discussão sobre a medição de desempenho na lean construction.** In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO- **XII SIMPEP**, 2006, Bauru-SP.

MAMEDE, F. C. Utilização de pré-moldados em edifícios de Alvenaria Estrutural. 2001. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/.../2001ME_FabianaMamede.pdf>. Acesso em: 18 Jul. 2015.

MAQBLOCOS. FABRICAÇÃO DE PRENSAS. Disponível em: <<https://www.maqblocosconstrucoes.com.br/>>.

MAPA DA OBRA. **BLOCO DE CONCRETO: PRINCIPAIS VANTAGENS E CARACTERÍSTICAS.** 2017. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/bloco-de-cimento-estrutural-vantagens/>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V.: Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos-SP. São Carlos. Disponível em: <<http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n36/Pag.41-50.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

MELLO, Vanessa Ferraz Lacerda de. **UMA VISÃO GERAL SOBRE MODULAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.** 2010. 34 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

Neto, M. **Brasil não consegue dar o destino adequado para resíduos.** 2018. In.: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. Disponível em: <http://sbpcacervodigital.org.br/bitstream/20.500.11832/5030/1/C%26C_70_2_abr_arte%20ciencia.pdf>. Acesso em: 12 Jan 2020.

OYAMA, R. A.; MOTA, W. S. B. *Aplicação dos princípios da construção enxuta em uma obra vertical.* Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade da Amazônia, Belém, 2010.

OLIVEIRA, E. R. M. **Metodologia de Implantação da Construção Enxuta: Estudo de Caso em Construtora de Porte Médio**. 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

OLIVEIRA JÚNIOR, V. **Recomendações para Projeto de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. 1992. 273 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1992.

PARIZOTTO FILHO, S. (2004). Análise arquitetônica e construtiva de tipos habitacionais edificados com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2004.

PEREZ Jr, J. H.; OLIVEIRA, L. M.; COSTA, R. G. Gestão estratégica de custos, 8ª ed. Atlas, São Paulo, 2010.

PORTELA, M. O. B; GOMES J.M.A. **OS DANOS AMBIENTAIS RESULTANTES DA EXTRAÇÃO DE ARGILA NO BAIRRO OLARIAS EM TERESINA-PI**. 2005. II Jornada De Políticas Públicas. Programa de Pós-graduação em Políticas Públicas. Universidade Federal do Maranhão.

ROSA, F.P. Perdas na Construção Civil – Diretrizes e Ferramentas para Controle. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001.

SANTANA, W. B. **CONSTRUÇÃO ENXUTA ATRAVÉS DA PADRONIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO E PLANEJAMENTO DE AÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2011. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.

SANTOS, M.; ALMEIDA, L.; FERREIRA, E. A. M.; Uso do BIM para suporte ao processo de gestão de resíduos em obras de edificações. In: 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO E 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO. 2017, Fortaleza- Ceará. v. 1, p. 124 - 131. Disponível em: <https://sbtic.com.br/anais/files/2017/sbtic2017_completo.pdf>. Acesso em: 30 dez. 2019.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de avenarias de vedação.** 2003. 274 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-01032004-150128/ptbr.php>>. Acesso em: 10 Mar. 2016.

SOIBELMAN, L. **AS PERDAS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFICAÇÕES: SUA INCIDÊNCIA E SEU CONTROLE.** 1993. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SOUSA, R. N.; SILVA, L. S. **Gestão de Custos: Contabilidade, Controle e Análise,** 3ª ed. Atlas, São Paulo, 2014.

SOUZA, U. E. L. **Como Reduzir Perdas nos Canteiros: Manual de Gestão do Consumo de Materiais na Construção Civil.** São Paulo: Pini, 2005.

SOUZA, U. E. L. *et al.* **Perdas de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito.** 1998. Disponível em:<<http://www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas/Produtividade/Perdas%20Revista%20Qualidade.pdf>>. Acesso em: 10 Maio, 2017.

TIJOLO ECOLÓGICO MODULAR. **Manual Prático.** 2019. Disponível em: <<https://pdfcoffee.com/manual-do-tijolo-ecologico-atualizado-2019pdf-pdf-free.html>>. Acesso em: 05 Maio, 2018.

VARGAS, C. et al. **Avaliação de perdas em obras – aplicação de metodologia expedita.** Anais do 17º Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Gramado, 1997.

VISINTAINER, M. R. M; CARDOSO, L. A; VAGHETTI, M. A. O. **Habitação popular sustentável: sustentabilidade econômica e Ambiental.** Revista de Arquitetura da IMED, v. 1, n.2, 2012, p. 133-140, ISSN 2318-1109.

VITRÚVIO. **Tratado da Arquitetura.** São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WIGINESCKI, B. B. APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA EM OBRAS PEQUENAS E DE CURTO PRAZO: UM ESTUDO DE CASO. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. São Paulo, 1986.