

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DANIEL DAHMER**

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS**  
**DE ALVENARIA ESTRUTURAL E CONCRETO ARMADO**

**São Leopoldo**

**2022**

DANIEL DAHMER

**ESTUDO COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS  
DE ALVENARIA ESTRUTURAL E CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Me. Silvia Maria Baptista Soares

São Leopoldo

2022

*Dedico aos meus pais, João Roque Dahmer e Lúcia Dahmer. Às empresas que me apoiaram, Incorporadora e Construtora Colúmbia e Bauhaus Empreendimentos.*

## RESUMO

Com a constante evolução na construção civil, atualmente, construtoras e empresários do ramo estão em constante análise para a busca de métodos construtivos mais eficazes e rentáveis. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo de comparar custos entre edificações com sistemas estrutural em alvenaria estrutural com bloco cerâmico e em concreto armado convencional. Para este estudo, foi utilizado um projeto residencial de uma edificação já executada em estrutura de concreto armado convencional, na cidade de Esteio (RS). Esse foi refeito e dimensionado em alvenaria estrutural, após realizada a verificação de custos e, posteriormente, o comparativo, utilizando como base a tabela SINAPI/RS do mês de agosto de 2022. A alvenaria estrutural, para o projeto estudado, mostrou uma redução de custos em torno de 18,52% (dezoito inteiros e cinquenta e dois centésimos por cento), quando comparada ao concreto armado, o que equivale a R\$ 197.619,64 (cento e noventa e sete mil seiscentos e dezenove reais e sessenta e quatro centavos), pois o custo total orçado para o concreto armado foi de R\$ 1.067.165,29 (um milhão e sessenta sete mil e cento e sessenta e cinco reais e vinte nove centavos), enquanto o de alvenaria estrutural foi de R\$ 869.545,66 (oitocentos e sessenta e nove mil e quinhentos e quarenta e cinco reais e sessenta e seis centavos).

**Palavras-chave:** Concreto armado. Alvenaria estrutural. Comparação. Custos.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Catedral de Reims .....	16
Figura 2 – Obras antigas em alvenaria estrutural .....	16
Figura 3 – Coliseu .....	17
Figura 4 – Pirâmides de Gizé .....	17
Figura 5 – Edifício Monadnock .....	18
Figura 6 – Edifício do Conjunto habitacional central parque lapa .....	19
Figura 7 – Edifício do Conjunto habitacional central parque lapa .....	19
Figura 8 – Blocos cerâmicos estruturais.....	21
Figura 9 – Armadura longitudinal em alvenaria estrutural .....	25
Figura 10 – Família 39 e família 29 de bloco de concreto .....	27
Figura 11 – Modulação horizontal dos blocos. ....	28
Figura 12 – Exemplo de projeto arquitetônico em alvenaria estrutural .....	30
Figura 13 – Efeito de segunda ordem em edificações .....	36
Figura 14 – Exemplo de instalação hidrossanitária .....	39
Figura 15 – Exemplo de instalação elétrica em alvenaria estrutural .....	40
Figura 16 – Exemplo de projeto executivo em alvenaria estrutural.....	40
Figura 17 – Modulação vertical .....	41
Figura 18 – Exemplo de juntas de controle .....	42
Figura 19 – Fachada do Edifício Firenze.....	48
Figura 20 – Perspectiva do edifício com nove pavimentos .....	48

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo de custo global entre os dois métodos construtivos (I).....	43
Gráfico 2 – Comparativo de custo global entre os dois métodos construtivos (II).....	44
Gráfico 3 – Comparativo de custo global entre os dois métodos construtivos (III)....	45
Gráfico 4 – Custo global da estrutura nos dois sistemas construtivos analisados ....	65
Gráfico 5 – Comparativo de aço entre os dois sistemas.....	66
Gráfico 6 – Comparativo de concreto entre os dois sistemas.....	66
Gráfico 7 – Comparativo de alvenaria entre os dois sistemas .....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resistência à compressão dos blocos.....	22
Quadro 2 – Requisitos para argamassas no estado fresco e endurecido.....	23
Quadro 3 – Traços comuns.....	24
Quadro 4 – Modulação usual de alvenaria estrutural .....	27
Quadro 5 – Carregamento da parede .....	50
Quadro 6 – Peso próprio da parede .....	50
Quadro 7 – Carregamento das lajes .....	50
Quadro 8 – Carregamento do vento.....	51
Quadro 9 – Cálculo da parede resistente no 1º pavimento .....	54
Quadro 10 – Cálculo da parede resistente no 2º pavimento .....	55
Quadro 11 – Cálculo da parede resistente no 3º pavimento .....	56
Quadro 12 – Cálculo da parede resistente no 4º pavimento .....	56
Quadro 13 – Quantidade de material para a obra em concreto armado.....	59
Quadro 14 – Orçamento para a construção em concreto armado.....	60
Quadro 15 – Quantidade de material para a obra em alvenaria estrutural .....	61
Quadro 16 – Orçamento para a construção em alvenaria estrutural .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resistências indicadas para argamassas e graute.....	24
Tabela 2 – Proporções recomendadas para graute .....	26
Tabela 3 – Valores de $y_m$ .....	34
Tabela 4 – Resistência ao cisalhamento .....	35
Tabela 5 – Valores máximos entre juntas de controle .....	42
Tabela 6 – Carga vertical do projeto .....	52
Tabela 7 – Carregamento da parede resistente .....	53
Tabela 8 – Cotação de blocos estruturais no mercado.....	62
Tabela 9 – Comparativo de custos entre os sistemas construtivos (em R\$).....	64
Tabela 10 – Comparativo de custos entre os sistemas construtivos (em porcentagem) ..	64



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1 Tema</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 Delimitação do tema</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3 Problema</b> .....	<b>12</b>
<b>1.4 Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.4.1 Objetivo geral .....	13
1.4.2 Objetivos específicos .....	13
<b>1.5 Justificativa</b> .....	<b>13</b>
<b>1.6 Estrutura do trabalho</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Técnicas, métodos, processo e sistema construtivo</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2 História do sistema construtivo em alvenaria estrutural</b> .....	<b>16</b>
<b>2.3 Apresentação do sistema construtivo</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Tipo de alvenaria.....	20
2.3.2 Componentes da alvenaria estrutural.....	20
2.3.3 Unidades da alvenaria estrutural .....	20
2.3.4 Argamassa .....	22
2.3.5 Armadura .....	25
2.3.6 Graute .....	25
2.3.7 Modulação .....	26
2.3.8 Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).....	28
<b>2.4 Projetos em alvenaria estrutural</b> .....	<b>29</b>
2.4.1 Projeto arquitetônico .....	29
2.4.2 Projeto estrutural .....	30
2.4.3 Ações .....	31
2.4.4 Combinações das ações .....	33
2.4.5 Resistências .....	34
2.4.8 Compressão simples.....	34
2.4.9 Cisalhamento na alvenaria .....	34
2.4.10 Estabilidade global do edifício .....	36
2.4.11 Dimensionamento de alvenaria à compressão simples .....	36
2.4.12 Dimensionamento da resistência da alvenaria .....	37

2.4.13 Tensões .....	37
2.4.14 Cargas concentradas .....	38
2.4.15 Projeto hidráulico .....	38
2.4.16 Projeto elétrico .....	39
2.4.17 Projeto executivo.....	40
2.4.18 Controle de obra .....	42
<b>2.5 Trabalhos semelhantes .....</b>	<b>43</b>
<b>2.6 Pontos positivos e negativos da alvenaria estrutural .....</b>	<b>45</b>
2.6.1 Pontos positivos .....	45
2.6.2 Pontos negativos.....	46
<b>2.7 Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil..</b>	<b>46</b>
<b>3 ESTUDO COMPARATIVO .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Metodologia.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Edifício do estudo de caso .....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Escolha dos subsistemas .....</b>	<b>49</b>
<b>3.4 Definição da proposta de estudo.....</b>	<b>49</b>
<b>3.5 Projeto estrutural de alvenaria estrutural.....</b>	<b>50</b>
3.5.1 Materiais e carregamentos verticais .....	50
3.5.2 Carregamento vertical por parede .....	52
3.5.3 Verificação da estabilidade de uma parede resistente .....	53
3.5.4 Tensões .....	53
<b>3.6 Descrição dos processos construtivos.....</b>	<b>57</b>
3.6.1 Processo construtivo de concreto armado.....	57
3.6.2 Processo construtivo em alvenaria estrutural .....	58
<b>4 COMPARATIVO DE CUSTO ENTRE ALVENARIA ESTRUTURAL E CONCRETO ARMADO.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1 Levantamento de quantitativos.....</b>	<b>59</b>
4.1.1 Quantitativo em concreto armado.....	59
4.1.2 Quantitativo em alvenaria estrutural .....	61
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICES / ANEXOS .....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE A – PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL 1º FIADA .....</b>	<b>74</b>

<b>APÊNDICE B – PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL 2° FIADA .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE C – PROJETO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DAS CARGAS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO A – PROJETO EM CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017), a alvenaria estrutural iniciou com os estudos do professor Paul Haller, na Suíça, testando paredes de alvenaria, devido à falta de concreto e aço, ocasionada por conta da Segunda Guerra Mundial. Em 1953, na Suíça, foi construído o primeiro edifício em alvenaria estrutural, de treze pavimentos, com 42 metros de altura e espessura das paredes internas de 15 centímetros.

No Brasil, as construções em alvenaria estrutural se iniciaram por meio de técnicas construtivas de Portugal, tendo sido utilizadas, inicialmente, para a construção de fortes e quartéis, feitos com pedras. Na década de 1960, com o impulsionamento do Banco Nacional de Habitações (BNH), se iniciou a implementação do sistema construtivo em moradias populares, a fim de criar normas técnicas específicas para o sistema construtivo. Já em 1980, foram criados os blocos vazados na vertical, facilitando as instalações elétricas e hidrossanitárias (MOHAMAD; MACHADO; JANTSCH, 2017).

A concretização, no Brasil, do sistema de alvenaria ocorreu com a primeira norma brasileira, a NBR 8215, para blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural (ABNT, 1983).

Conforme Roman, Mutti e Araújo (1999), a alvenaria estrutural é o processo construtivo onde se utilizam as paredes da habitação para resistir às cargas, em substituição aos pilares e vigas utilizados nos sistemas de concreto armado, aço ou madeira.

Nos dias atuais, a indústria da construção civil participa ativamente no desenvolvimento econômico e social do país. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o setor cresceu aproximadamente 9,7% (nove inteiros e setenta centésimos por cento) em 2021, após ter registrado queda de 6,3% (seis inteiros e trinta centésimos por cento), em 2020.

Através dos dados obtidos pelo IBGE (2022) e pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), percebe-se que a construção civil retornou ao seu aumento na receita do desenvolvimento. Segundo a CBIC (2021), a construção civil deve apresentar uma expansão de 2% (dois por cento), porém, os empresários do setor estão otimistas e aguardam um crescimento maior.

Uma das maiores prioridades das empresas no ramo da construção é a economia na execução das obras, onde construir passa a ser uma questão de custo e de controle de gastos. Com isso, observa-se a busca por novas técnicas que facilitem o serviço e reduzam os custos (BELLEI, 2013).

Desta forma, a análise do melhor sistema construtivo a ser utilizado em uma edificação torna-se fundamental, a fim de se obter economia, produtividade e evitar desperdícios. As empresas costumam utilizar apenas o sistema construtivo tradicional, por não conhecerem as vantagens e/ou por não possuírem mão de obra qualificada e, por conta disso, torna-se importante apresentar um sistema construtivo inovador.

### **1.1 Tema**

O tema proposto é um estudo comparativo entre as edificações com sistema estrutural em alvenaria estrutural de bloco cerâmico e de concreto armado convencional.

### **1.2 Delimitação do tema**

No estudo, será realizado um comparativo de custos dos dois métodos construtivos sobre a supraestrutura de um edifício, considerando somente os nove pavimentos tipos, contemplando apenas mão de obra e materiais, sem incluir o BDI (benefícios e despesas indiretas).

### **1.3 Problema**

Com a evolução da construção civil, e o aumento da mão de obra e do custo do material, busca-se por métodos construtivos mais eficazes e mais econômicos, para auxiliar tanto no valor final para o consumidor, como na rapidez de execução. Para a implementação de um método mais inovador, é necessária a racionalização, a compatibilização de projetos e uma mão de obra qualificada.

Sobre estes quesitos, existem várias alternativas viáveis, sendo que, no presente trabalho, escolheu-se a alvenaria estrutural de bloco cerâmico e o concreto armado convencional, por serem sistemas muito empregados no estado e no país.

Sabe-se que muitos acreditam que a alvenaria estrutural seja mais vantajoso em relação ao concreto armado convencional, mas será que esta isto procede.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo geral**

O objetivo principal do trabalho é a realização de um estudo comparativo de custos entre os sistemas construtivos de concreto armado convencional e alvenaria estrutural.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- a) comparar os custos de uma edificação, executados em concreto armado e reformulados em alvenaria estrutural;
- b) comparar resultados com trabalhos já realizados sobre o mesmo tema;
- c) Dimensionar o edifício de concreto armado, em alvenaria estrutural de bloco cerâmico.

## **1.5 Justificativa**

Nos últimos anos, devido ao crescimento das quantidades de edificações no Brasil, os avanços tecnológicos sobre os sistemas construtivos aumentaram constantemente. A alvenaria estrutural, realizada em bloco cerâmico e de concreto, se destaca como uma alternativa econômica, que gera construções racionalizadas e com menor tempo de execução (MACHADO, 2015).

Segundo Parsekian e Soares (2010), a alvenaria estrutural é mais comum em edifícios residenciais, onde são necessários o planejamento, o controle, a racionalização, a rapidez e a diminuição dos custos.

A alvenaria estrutural é bastante utilizada em várias regiões do país, devido à racionalização, diminuindo o custo da obra e gerando menos resíduos. Porém, ainda é motivo de críticas, principalmente pela falta de conhecimento, não apenas dos envolvidos, mas também, da maioria da população (BELLEI, 2013).

## 1.6 Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido em seis capítulos, a fim de uma melhor organização e um melhor entendimento.

O primeiro capítulo do trabalho apresenta a introdução, os objetivos e a justificativa para o tema utilizado. A segunda parte traz a revisão bibliográfica, apresentando a alvenaria estrutural, materiais e dimensionamento.

No capítulo 3, encontra-se o dimensionamento da edificação em alvenaria estrutural. Já o capítulo 4, apresenta um comparativo de custos entre os dois sistemas construtivos, onde foram utilizados parâmetros para a composição de custos, possibilitando uma comparação semelhante entre os dois sistemas.

No capítulo 5, demonstram-se os resultados obtidos, a partir da comparação dos dois sistemas construtivos. Já no capítulo 6, são apresentadas as conclusões obtidas através da bibliografia e dos cálculos realizados.

Por fim, nos Apêndices, encontra-se o trabalho realizado nesta pesquisa, isto é, o projeto em alvenaria estrutural e os orçamentos, enquanto, no Anexo, demonstra-se o projeto já pronto em concreto armado.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como este trabalho se trata de um comparativo de custos, será realizada uma breve apresentação da revisão bibliográfica sobre os processos construtivos de alvenaria estrutural, não necessitando apresentar os sistemas construtivos de concreto armado, por estes serem de vasto conhecimento acadêmico e profissional. Também, apresenta-se uma pesquisa a trabalhos similares, com o objetivo de confirmar e comparar os resultados obtidos neste.

### 2.1 Técnicas, métodos, processo e sistema construtivo

Sabbatini (1989) traz algumas definições importantes sobre o tema:

- a) **técnica construtiva**: é um conjunto de atividades empregadas em um determinado serviço para produzir uma parte da construção. Como exemplo, um tipo de fôrma utilizado para a execução de uma estrutura de concreto;
- b) **método construtivo**: é um conjunto de técnicas construtivas necessárias para a realização de um determinado serviço. Como exemplo, para a execução de uma parede, é necessário aplicar técnicas construtivas, como a marcação, forma de aplicação de argamassa, prumo, forma de assentar o tijolo, nivelção da parede e alinhamento;
- c) **processo construtivo**: se caracteriza pelo conjunto de métodos construtivos utilizados na edificação, de organização e bem definida para se construir um edifício. Como exemplo, a execução de uma alvenaria estrutural requer vários métodos construtivos para a construção de um conjunto de paredes;
- d) **sistema construtivo**: é um conjunto de processos construtivos necessários para a execução de uma edificação, do início ao fim, formado por um conjunto de etapas e componentes unidos pelo processo, transformando a edificação em um sistema de produção. Como exemplo, um edifício em alvenaria estrutural possui vários processos construtivos e, no final, a união dos processos gera um sistema construtivo.



## 2.2 História do sistema construtivo em alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural existe há milhares de anos. As primeiras obras eram realizadas em pedras ou tijolo cerâmico seco ao sol (adobe). Possuíam grandes espessuras nas paredes, a modulação com os blocos já estava presente e eram erguidas conforme regras empíricas e intuitivas, baseadas nos conhecimentos dos construtores obtidos ao longo do tempo (MOHAMAD, 2020).

Nas Figuras 1 a 4, apresentam-se edificações mundialmente conhecidas, feitas em alvenaria, como a Catedral de Reims, construída no século XIII, na França (Figura 1), a cidade de Ksar of Aït-Ben-Haddou, construída em Marrocos (Figura 2), o Coliseu, inaugurado em 80 d.C., na Itália (Figura 3), e as pirâmides de Gizé, construídas em torno de 2600 a.C., no Egito (Figura 4).

Figura 1 – Catedral de Reims



Fonte: Santos Junior e Oliveira (2019).

Figura 2 – Obras antigas em alvenaria estrutural



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017).

Figura 3 – Coliseu



Fonte: Santos Junior e Oliveira (2019).

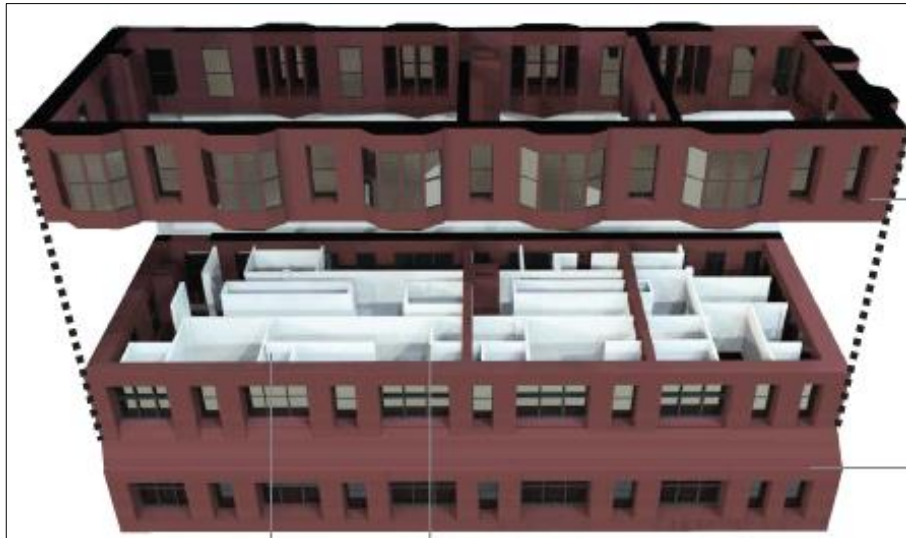
Figura 4 – Pirâmides de Gizé



Fonte: Santos Junior e Oliveira (2019).

O edifício Monadnock, apresentado na Figura 5, é a mais alta estrutura em parede portante de Chicago (EUA). Ele apresenta dezesseis pavimentos e 65 metros de altura, possuindo paredes com 1,80 metros de espessura no pavimento térreo. Na época, este tipo de construção era bastante complicado, possuindo problemas de racionalização, por apresentar limitações nos espaços internos, tornando, assim, o sistema construtivo lento e com alto custo (MOHAMAD; MACHADO; JANTSCH, 2017).

Figura 5 – Edifício Monadnock



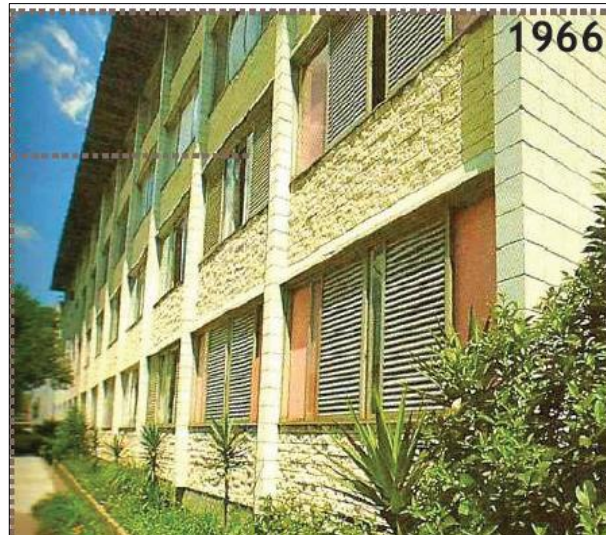
Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017).

A alvenaria está presente, no Brasil, desde o início do século XVI, quando os portugueses chegaram ao país. Porém, a alvenaria com blocos estruturais, considerada como um sistema construtivo inovador e voltado para a obtenção de edificações mais econômicas e racionais, demorou muito a encontrar o seu espaço (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

“No Brasil, a alvenaria estrutural é utilizada, de forma racionalizada, desde a década de 1960, mas a criação da norma brasileira para projeto de alvenaria estrutural surgiu em 1977” (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

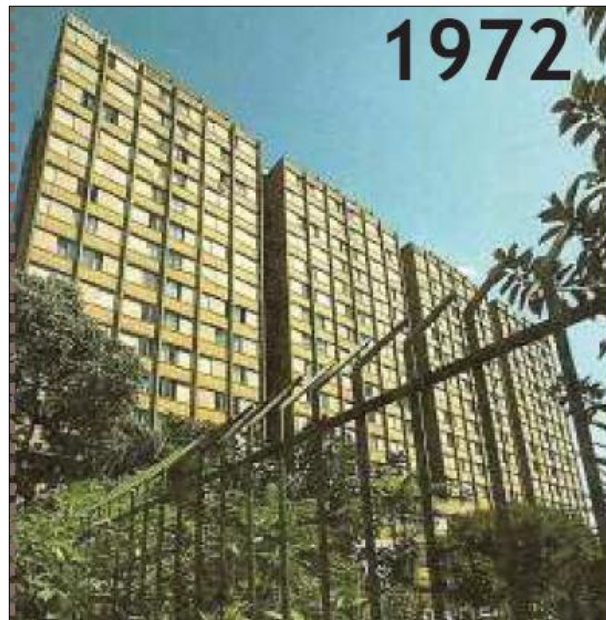
Segundo Ramalho e Corrêa (2003), o primeiro edifício construído no Brasil, em 1966, era de bloco de concreto com espessura de 19 centímetros e tinha apenas quatro pavimentos (Figura 6). Já o segundo, tinha doze pavimentos, construído em alvenaria de bloco de concreto, em 1972 (Figura 7). Os dois edifícios pertencem ao conjunto habitacional Central Parque Lapa, em São Paulo.

Figura 6 – Edifício do Conjunto habitacional central parque lapa



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017).

Figura 7 – Edifício do Conjunto habitacional central parque lapa



Fonte: Mohamad, Machado e Jantsch (2017).

### 2.3 Apresentação do sistema construtivo

A alvenaria estrutural pode ser definida como um sistema unido e rígido de tijolos e blocos, executado em obra, unidos por juntas de argamassa, desenvolvido para resistir a esforços de compressão. As paredes servem como elemento portante e de vedação, suportando o peso da estrutura (cargas verticais oriundas do peso próprio e cargas horizontais oriundas das ações do vento) (DELLATORRE, 2014).

Conforme Nese e Tauil (2010, p. 22), “em alvenaria estrutural, não se utilizam pilares e vigas, pois as paredes chamadas de portantes compõem a estrutura da edificação e distribuem as cargas uniformemente ao longo das fundações”.

### 2.3.1 Tipo de alvenaria

Segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017), a alvenaria se divide em três tipos:

- a) **não armada**: tipo de alvenaria que não recebe graute e não possui armadura para suportar aos esforços solicitantes;
- b) **estrutural ou armada**: alvenaria que necessita de reforços, onde se utilizam armaduras passivas, que são necessárias para resistir aos esforços solicitantes;
- c) **protendida**: alvenaria reforçada por armadura ativa, que possui resistência a esforços de compressão.

### 2.3.2 Componentes da alvenaria estrutural

Os componentes da alvenaria estrutural são os elementos que a compõem e que fazem parte da estrutura. Os principais são as unidades, as argamassas, a armadura e o graute (DELLATORRE, 2014).

Segundo Berti e Rafael (2019, p. 23), “para obter um bom desempenho e funcionalidade da alvenaria estrutural, irá depender da sua qualidade de execução e principalmente que todos os componentes do sistema, executem seus papéis de forma correta”.

### 2.3.3 Unidades da alvenaria estrutural

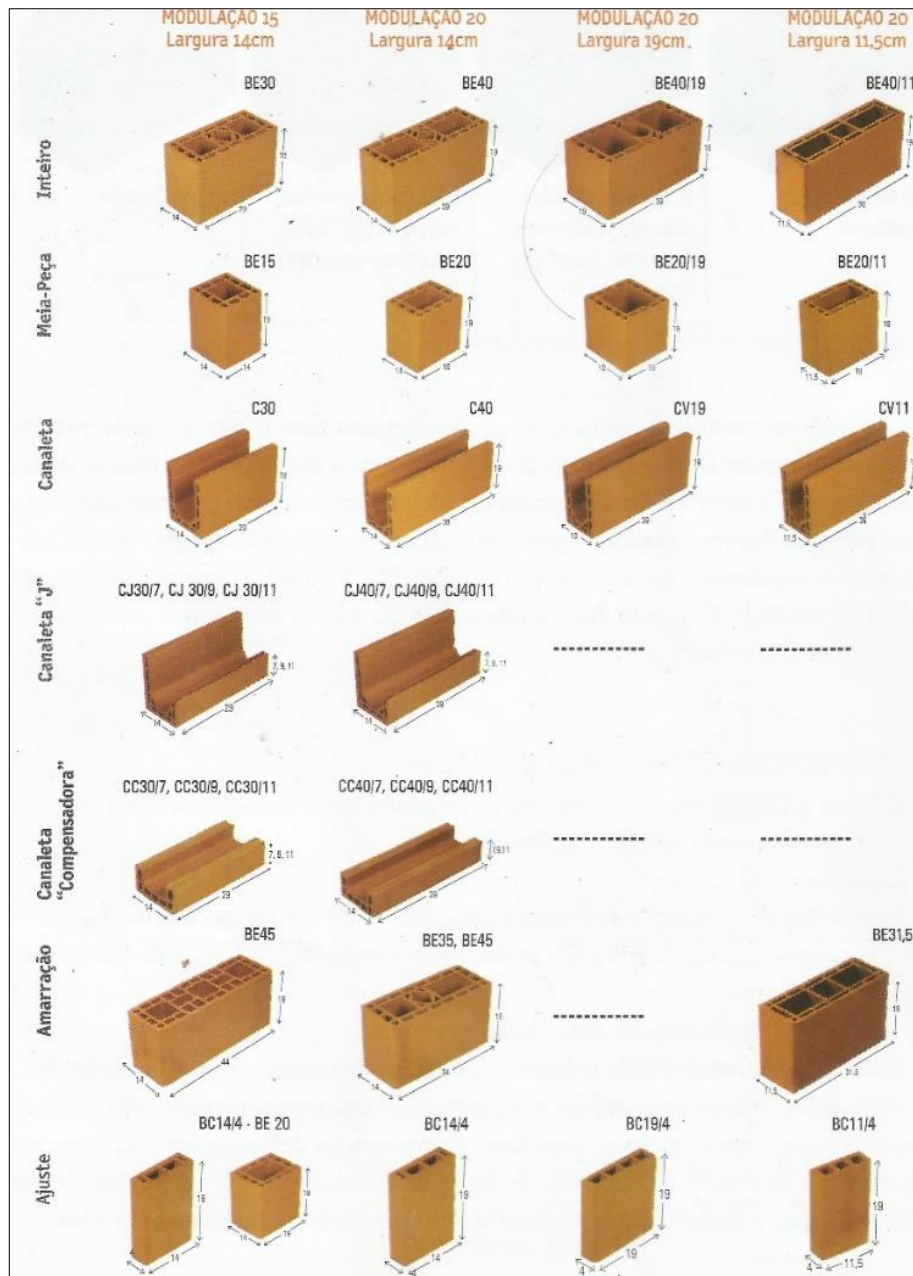
Mohamad, Machado e Jantsch (2017, p. 40) apresentam os três tipos de unidades:

- a) **bloco cerâmico**: é constituído pela argila, esta composta de sílica, silicato de alumínio e variadas quantidades de óxidos ferrosos, podendo ser calcária ou não calcária;
- b) **bloco sílico-calcário**: é produzido por meio de prensagem e da cura por vapor a alta pressão de areia quartzosa e cal;
- c) **bloco de concreto**: são unidades estruturais vazadas, vibro compactadas e produzidas por indústrias de pré-fabricação do concreto. Por definição,

o termo bloco vazado é empregado quando a unidade possui área líquida igual ou inferior a 75% da área bruta.

Na Figura 8, são representados os blocos cerâmicos estruturais, sendo eles divididos em inteiros, meia peça, canaleta, canaleta “j”, canaleta compensadora, amarração e ajuste, e, nas colunas, a divisão, conforme a modulação (15 cm e 20 cm).

Figura 8 – Blocos cerâmicos estruturais



Fonte: Parsekian e Soares (2010).

É importante informar a resistência dos blocos à compressão, devido ao fato destes apresentarem a função de suportar as cargas principais. O Quadro 1 apresenta as resistências dos blocos, conforme o tipo (OLIVIER, 2016).

Quadro 1 – Resistência à compressão dos blocos

Tipo de bloco	Resistência à compressão
Blocos cerâmicos	$f_{bk} \geq 3 \text{ MPa}$
Blocos de concreto em paredes externas sem revestimento	$f_{bk} \geq 6 \text{ MPa}$
Blocos de concreto em paredes internas ou externas com revestimento	$f_{bk} \geq 4,5 \text{ MPa}$

Fonte: adaptado de Olivier (2016).

#### 2.3.4 Argamassa

Na alvenaria, a argamassa de assentamento tem a função de unir os blocos, uniformizar as tensões, absorver pequenas deformações e prevenir a vedação nas edificações (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Mohamad (2020) divide as argamassas em quatro tipos:

- a) **argamassas de cal:** composta por cal e areia, é encontrada, na sua maioria, em construções antigas. O endurecimento ocorre devido à carbonatação da cal, que é um processo lento e pode durar anos e, por isso, sua resistência é menor que 2 MPa. Suas características são excelente trabalhabilidade, retenção de água e resiliência excelente (capacidade de se deformar sem fissurar);
- b) **argamassas de cimento:** compostas por cimento Portland e areia, adquirem resistência rápida, assim permitem a execução de várias fiadas sem causar o esmagamento da argamassa nas fiadas inferiores. É recomendada a utilização em regiões que possuem contato com a água na primeira fiada, devido ao nivelamento dos blocos. Suas características são resistência maior, pior trabalhabilidade, baixa resiliência, maior retração e causa mais gastos na obra;
- c) **argamassas mistas:** compostas por cimento, cal e areia. Em proporções adequadas, possui vantagens em comparação aos outros dois tipos, pois a

cal proporciona uma melhor trabalhabilidade, retenção de água, diminuindo rupturas na argamassa, e o cimento fornece a resistência à compressão;

- d) **argamassas industrializadas**: compostas por areia, cimento e aditivos que substituem a cal, são fabricadas em uma central, aumentando assim a produção na obra e tendo um controle maior de traço, sendo só necessária a adição de água para a trabalhabilidade necessária.

Segundo Mohamad (2020), no início, a argamassa só possuía a função de unir os blocos. Já na década de 1970, pesquisadores se reuniram para avaliar os comportamentos da argamassa e criar os requisitos básicos para as argamassas de assentamento, que são:

- a) no estado fresco: consistência, retenção de água, coesão da mistura e exsudação;
- b) no estado endurecido: resistência à compressão, aderência superficial e durabilidade (Quadro 2).

Quadro 2 – Requisitos para argamassas no estado fresco e endurecido

Estado fresco	Estado endurecido
Consistência	Resistência à compressão
Retenção de água	Aderência superficial
Coesão da mistura	Durabilidade
Exsudação	Capacidade de acomodar deformações (resiliência)

Fonte: adaptado de Mohamad (2020).

A seguir, são apresentadas as propriedades importantes das argamassas:

- a) **trabalhabilidade**: é uma propriedade importante, pois fornece uma fácil aplicação e espalhamento sobre o bloco. Ela apresenta fatores importantes, como a consistência a plasticidade e coesão (DELLATORRE, 2014);
- b) **retenção de água**: é a capacidade da argamassa de reter água contra a sucção do bloco. Se o bloco absorve muita água e rapidamente da argamassa, não será possível a hidratação completa do cimento. Isto gera uma fraca ligação entre o tijolo e a argamassa. Além disso, o endurecimento muito rápido da argamassa, pela perda de água, impede o assentamento correto da fiada seguinte. A cal é um excelente retentor de água, pois cede água aos poucos (PARSEKIAN; SOARES, 2010);



- c) **resistência à compressão:** depende do aglomerante utilizado, quanto mais cimento conter na composição, maior a resistência, e, quanto mais cal na mistura, mais perda de resistência. A resistência da argamassa não deve ultrapassar a resistência dos blocos da parede (que varia de 3 a 6 MPa), por causar fissuras e retrações, mas deve ser capaz de resistir aos esforços submetidos (DELLATORRE, 2014).

Na Tabela 1, são apresentadas as resistências recomendadas de argamassas e graute, conforme a resistência do bloco. Já o Quadro 3, exemplifica os traços comuns de argamassas, de acordo com o tipo de resistência desejada.

Tabela 1 – Resistências indicadas para argamassas e graute

Bloco: $f_{bk}$ (MPa)	Argamassa: $f_a$ (MPa)			Graute: $f_{gk}$ (MPa)
	Mínimo	Máximo	Recomendado	Recomendado
3,0	2,1	4,8	4,0	15,0
6,0	4,2	9,7	5,0	15,0
8,0	5,6	12,9	7,0	20,0
10,0	7,0	16,1	7,0 a 8,0	25,0

Fonte: adaptada de Parsekian e Soares (2010).

Onde:

$f_{bk}$ : resistência do bloco característica;

$f_a$ : resistência média da argamassa;

$f_{gk}$ : resistência do graute característica.

Quadro 3 – Traços comuns

Cimento	Cal	Resistência média esperada (MPa)	Uso/Notas
1,0	0,25	17,0	Traço muito forte, suscetível a fissuras
1,0	0,5	12,0	Traço ainda forte, recomendado apenas para casos de alvenarias aparentes ou enterradas, ou ainda, sujeitos a carga lateral predominante (arrimos, reservatórios)
1,0	1,0	5,0	Traço adequado para edificações de baixa altura em paredes revestidas
1,0	2,0	2,5	Traço apenas para alvenaria de vedação

Fonte: adaptado de Parsekian e Soares (2010).

### 2.3.5 Armadura

Com relação à armadura, as barras de aço da alvenaria estrutural são como as utilizadas no sistema de concreto armado, devendo ser revestidas com graute, para que haja aderência entre os materiais (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Na alvenaria estrutural, a armadura pode ser responsável por alguns esforços calculados na estrutura ou para amarração das paredes. As barras de aço e o graute trabalham juntos, para combater alguns esforços de tração (BERTI; RAFAEL, 2019).

De acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017), a armadura na alvenaria estrutural é utilizada para resistir esforços à tração e cisalhamento. Neste caso, a armadura pode aparecer tanto na horizontal, como na vertical, conforme a necessidade. Na Figura 9, está representada uma armadura longitudinal.

Figura 9 – Armadura longitudinal em alvenaria estrutural



Fonte: Bellei (2013).

### 2.3.6 Graute

Conforme Roman, Mutti e Araújo (1999, p. 21), “o graute é composto dos mesmos materiais usados para produzir concreto convencional. As diferenças estão no tamanho do agregado graúdo (mais fino, 100% (cem por cento) passando na peneira 12,5 mm) e na relação água/cimento”.

Os materiais, bloco, graute e armadura, devem trabalhar como um conjunto rígido, de maneira contrária ao que ocorre com o concreto armado. Para tanto, o graute deve envolver as armaduras e os blocos, de modo a formar um conjunto único (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

Segundo Mohamad (2020), o graute deve ser dosado, para atingir as características físicas e mecânicas necessárias, conforme o projeto estrutural, preferencialmente, deve-se realizar o ensaio de prismas feitos com materiais da obra, sendo que o mínimo exigido pela norma é de 15 MPa. Em caso de obras pequenas, podem ser usadas as proporções apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Proporções recomendadas para graute

	Materiais constituintes		
	Cimento	Areia	Pedrisco
Sem pedrisco	1	3 a 4	-
Com pedrisco	1	2 a 3	1 a 2

Fonte: Mohamad (2020).

### 2.3.7 Modulação

A modulação é necessária para se obter economia e racionalidade na obra em alvenaria estrutural. Se esta não for seguida, a obra se tornará mais cara. Isso se explica quando não é possível cortar os blocos, tornando o gasto com enchimentos muito elevados (BERTI; RAFAEL, 2019).

“A dimensão modular na alvenaria estrutural é a dimensão do bloco somada à dimensão da junta de argamassa (1 cm). A multiplicação do módulo por um fator numérico inteiro determina as medidas de projeto a serem utilizadas” (DINIZ, 2017, p. 21).

O Quadro 4 apresenta a dimensão modular, que é a soma do bloco com a junta, a dimensão nominal, que é a dimensão do bloco, e dimensão dos vãos, que são os múltiplos da dimensão modular, que devem ser usados como base na hora de desenvolver o projeto.

Quadro 4 – Modulação usual de alvenaria estrutural

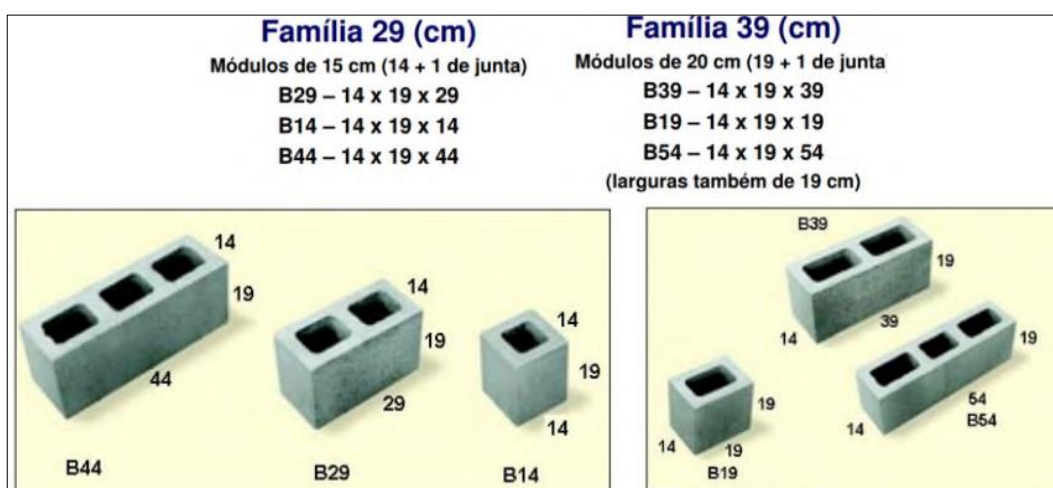
Dimensão modular (cm)	Dimensão nominal (cm)	Dimensão dos vãos (planta de arquitetura)
15x30	14x29	Todos os múltiplos de 15 cm
20x40	19x39	Todos os múltiplos de 20 cm, normalmente utilizados em galpões ou depósitos, reservatórios, arrimos
15x40	14x39	Em geral, múltiplos de 20 cm, porém é necessário fazer a modulação, pois podem ocorrer vãos diferentes

Fonte: adaptado de Diniz (2017).

De acordo com Diniz (2017), a primeira e a segunda fiadas de blocos (fiada ímpar e fiada par) de cada pavimento devem ser representadas no projeto bloco a bloco. A tubulação hidráulica passa por *shafts*, que são furos deixados nas lajes, enquanto as instalações elétricas passam pelos furos verticais dos blocos.

A coordenação modular é a capacidade de organizar os blocos e componentes, capazes de seguir a medida padrão da modulação (NESE; TAUIL, 2010). Na modulação da alvenaria estrutural, trabalha-se com famílias modulares de blocos, em que as principais são a família 29 cm (módulo de 15 cm) e a família 39 (módulo de 20 cm), conforme indicado na Figura 10 (DINIZ, 2017).

Figura 10 – Família 39 e família 29 de bloco de concreto



Fonte: Diniz (2017).

Conforme a NBR 15270-2, existem três famílias para blocos cerâmicos estruturais: família 11,5 cm, família 14 cm e família 19 cm. Todas elas são constituídas do bloco principal, do meio bloco e do bloco e meio, além de peças complementares, como canaletas “U” ou “J” e peças de amarração “T” ou “L” (ABNT, 2017b).

Na modulação de uma planta, deve-se procurar, quando possível, amarrar o maior número de paredes, pois este tipo de amarração garante a transmissão dos esforços entre elas. Com isso, a distribuição do carregamento mantém-se uniforme, aliviando paredes sobrecarregadas (RAMALHO; CORRÊA, 2003).

A Figura 11 apresenta a modulação em planta da primeira e segunda fiadas, para auxiliar e agilizar no canteiro de obras.

Figura 11 – Modulação horizontal dos blocos.



Fonte: Nese e Tauil (2010).

### 2.3.8 Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

Atualmente, as normas técnicas seguidas para projetos e execução de alvenaria estrutural são:

- NBR 15270-1:** componentes cerâmicos – parte 1 – blocos cerâmicos para alvenaria – requisitos (ABNT, 2017a);
- NBR 15270-2:** componentes cerâmicos – parte 2 – blocos e tijolos cerâmicos para alvenaria - métodos de ensaio (ABNT, 2017b);
- NBR 6136** blocos vazados de concreto simples para alvenaria – requisitos (ABNT, 2016a);

- d) **NBR 16868-1**: alvenaria estrutural – parte 1 – projetos (ABNT, 2020a);
- e) **NBR 16868-2**: alvenaria estrutural – parte 2 – execução e controle de obras (ABNT, 2020b);
- f) **NBR 16868-3**: alvenaria estrutural – parte 3 – métodos de ensaio (ABNT, 2020c);

Cada uma destas normas especifica uma parte do sistema construtivo, desde o projeto até a execução.

## 2.4 Projetos em alvenaria estrutural

Em um projeto de concreto armado, se inicia com o projeto arquitetônico e, após, são feitos os complementares. Já em um projeto de alvenaria estrutural, os projetos são desenvolvidos em conjunto, pois eles necessitam ser compatibilizados, para não ocorrer retrabalhos durante a execução (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Na alvenaria estrutural, os pilares e vigas são substituídos por alvenaria, que possui pontos de graute reforçados ou não com armaduras. Os vãos de portas, janelas, *shafts*, instalações e elevadores são todos definidos conforme a modulação do projeto (NESE; TAUIL, 2010).

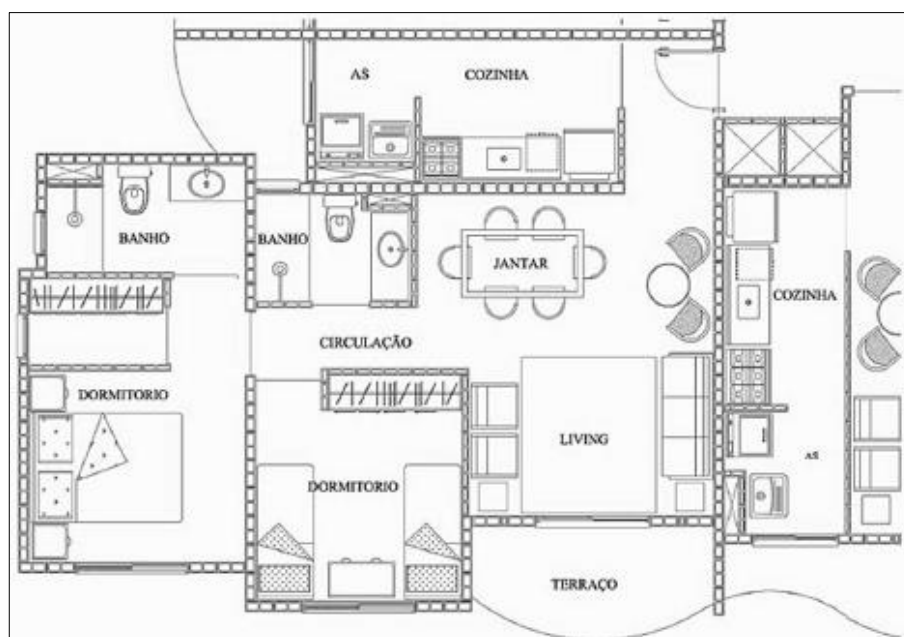
### 2.4.1 Projeto arquitetônico

Nese e Tauil (2010) dividem a conceituação do projeto arquitetônico nas seguintes partes:

- a) **espaços**: define-se conforme a utilização do empreendimento;
- b) **sistema construtivo**: após a definição dos espaços, o projetista pode adotar o sistema construtivo conforme a escolha do cliente;
- c) **arquitetônico**: nessa etapa, o projetista prevê os elementos do projeto, como fachadas, elevadores, vãos de iluminação, escadas, conforto térmico e acústico;
- d) **projeto legal**: é a modelação do projeto, para encaminhamento na prefeitura, a fim de liberar a construção da edificação.

A Figura 12 apresenta um exemplo de projeto arquitetônico em alvenaria estrutural, onde aparece a modulação das paredes e o mobiliário, a fim de ter uma percepção dos espaços internos.

Figura 12 – Exemplo de projeto arquitetônico em alvenaria estrutural



Fonte: Nese e Tauil (2010).

#### 2.4.2 Projeto estrutural

A estrutura é dimensionada em cima de uma planta básica, onde se determinam as paredes estruturais e não estruturais, conforme as ações de vento e verticais. Com o objetivo de garantir a estabilidade lateral do edifício, são necessárias paredes estruturais nas duas direções do prédio (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

A modulação está ligada diretamente com o projeto estrutural, pois está relacionada com a estabilidade da edificação e por sua estrutura ser de sustentação. Após definida a modulação, o projetista estrutural deve definir os locais que serão grauteados, que necessitam de incrementos fora de modulação, e outros componentes para adequar o projeto de alvenaria e as dimensões dos ambientes (NESE; TAUIL, 2010).

De acordo com Mohamad (2020), após o projeto arquitetônico adaptado, conforme a modulação, devem ser observados alguns fatores durante a compatibilização dos projetos:

- a) cuidar com pontos de graute, para que não sejam sobrepostos a tubulações;
- b) apresentar os detalhamentos das sacadas e escadas, onde devem constar o prolongamento de vigas, rebaixos, apoios;

- c) representar as juntas de dilatação e se atentar para não ficarem dentro de uma unidade privativa, por causa das marcações geradas no piso e nas paredes.

Parsekian e Soares (2010) ressaltam que, para o dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural, é necessário definir previamente:

- a) a família de blocos;
- b) as dimensões arquitetônicas devem fechar com a modulação, assim como as portas e as janelas;
- c) as paredes de vedação ou hidráulicas, que não podem participar na resistência estrutural;
- d) a resistência dos blocos disponíveis;
- e) o módulo de elasticidade e os limites de resistência;
- f) no topo do prédio, as cargas verticais, como caixa d'água, tipo de telhado, casa de máquinas dos elevadores;
- g) nas lajes, as cargas acidentais, conforme a utilização, o peso próprio, peso do contrapiso e revestimentos;
- h) o peso próprio das paredes, que podem variar conforme o material da alvenaria, espessura, revestimentos e pontos de graute;
- i) as ações dos ventos, conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988);
- j) as ações devido ao desaprumo, com a previsão de ocorrência de falhas de prumo na hora da execução das paredes;
- k) o modelo de cálculo a utilizar, para que seja possível a determinação dos esforços nos elementos estruturais;
- l) a estabilidade global da estrutura, verificando os deslocamentos máximos e horizontais em cada andar e, com a utilização dos parâmetros  $\gamma$  e  $\alpha$ , para verificar os efeitos de segunda ordem.

#### 2.4.3 Ações

Conforme Mohamad (2020), a NBR 16868-1 define que, em uma análise estrutural, devem ser consideradas todas as influências de ações, que apresentem um efeito significativo na segurança da estrutura, levado em conta os estados limites últimos (ELU) e estados limites de serviço (ELS).



A NBR 16868-1 descreve que, na ausência de avaliação do peso específico da alvenaria de blocos cerâmicos vazados, deve ser considerado o valor de 14 kN/m<sup>3</sup>, necessitando acrescentar, quando existir, o peso específico do graute, considerando os coeficientes de ponderação e redução (ABNT, 2020a).

De acordo com Parsekian e Soares (2010), em toda a estrutura deve ser estimada a carga vento, pois, quando o vento possui uma barreira (prédio) ocorre a sua ação. Essas ações se dividem em horizontal (fachada), vertical ou inclinada (cobertura). O vento se trata de uma ação aleatória, pois pode ter variação de sentido, direção e intensidade.

A NBR 6123 (ABNT, 1988), sobre as forças devidas ao vento em edificações, apresenta recomendações para se obter a carga de vento, levando em consideração alguns fatores, como cidade, dimensão da edificação, tipo de terreno, rugosidade do terreno e tipo de ocupação (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

As cargas horizontais são produzidas pelo vento e o desaprumo, a força do vento gera tanto a flexão, como a torção, caso a estrutura da edificação não seja simétrica em relação à direção do vento. A Equação 1 é utilizada para o cálculo da força do vento e pode ser encontrada no item 4.2.3 da NBR 6123 (ABNT, 1988).

$$f_a = c_a * q * A_e \quad (1)$$

Onde:

**f<sub>a</sub>**: força do arrasto do vento;

**c<sub>a</sub>**: coeficiente de arrasto;

**q**: pressão dinâmica do vento.

**A<sub>e</sub>**: área efetiva referente a projeção da fachada da edificação.

O desaprumo é uma ação horizontal devido à execução da estrutura citada pela NBR 16868-1 (ABNT, 2020). Em estruturas que possuem andares múltiplos, deve ser considerada nas ações horizontais. É calculada a partir da Equação 2.

$$i_a = \frac{1}{100 * \sqrt{H}} \leq \frac{1}{40 * H} \quad (2)$$

Onde:

**H**: altura até o pavimento considerado;

#### 2.4.4 Combinações das ações

Os valores das ações são definidos conforme seus valores característicos ( $f_k$ ), onde cada tipo de carregamento deve ter todas as combinações mais desfavoráveis para o dimensionamento da estrutura (MOHAMAD, 2020).

Parsekian e Soares (2010) admitem quatro combinações últimas normais desfavoráveis para a verificação do estado limite último, conforme demonstrado nas Equações 3 a 6.

Combinação 1: Permanente + Acidental

$$\frac{yg*F_{G,k}}{t*R} + \frac{yq*F_{Q1,k}}{t*R} \quad (3)$$

Combinação 2: Permanente - Vento (utilizada para verificar se há tração)

$$\frac{yg*F_{G,k}}{t} - \frac{yq*M}{W*10^3} \quad (4)$$

Combinação 3: Permanente + Vento + Acidental

$$\frac{yg*F_{G,k}}{t*R} + \frac{yq*M}{W*1,3*10^3} + \frac{yq*\psi_0*F_{Qj,k}}{t*R} \quad (5)$$

Combinação 4: Permanente + Acidental + Vento

$$\frac{yg*F_{G,k}}{t*R} + \frac{yq*F_{Q1,k}}{t*R} + \frac{yq*\psi_0*M}{W*1,5*10^3} \quad (6)$$

Onde:

**$yg$  e  $yq$** : coeficientes de ponderação das cargas permanentes e acidentais;

**$F_{Gk}$** : valor característico das cargas permanentes;

**$F_{Q1k}$** : valor característico das cargas acidentais;

**$t$** : espessura da parede;

**$R$** : coeficiente redutor devido à esbeltez da parede;

**$W$** : módulo de resistência a flexão;

**$M$** : momento devido ao desaprumo e vento;

**$\psi_0$** : valor de redução das ações;

**$F_{Qj,k}$** : valor característico reduzido das demais ações variáveis.

### 2.4.5 Resistências

Segundo Mohamad (2020), a NBR 16868-1 define que deve ser consideradas todas as combinações de ações que possam desfavorecer o dimensionamento de uma estrutura, constando, na referida norma, uma tabela com os coeficientes de ponderação ( $\gamma_m$ ), conforme apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de  $\gamma_m$

Combinações	Alvenaria	Graute	Aço
Normais	2,00	2,00	1,15
Especiais ou de construção	1,5	1,5	1,15
Excepcionais	1,5	1,5	1,0

Fonte: NBR 16868-1 (ABNT, 2020a).

### 2.4.8 Compressão simples

A NBR 16868-1 (ABNT, 2020a) estabelece que a resistência à compressão simples da alvenaria ( $f_{alvk}$ ) deve ser determinada com base no ensaio dos blocos. Em uma parede de alvenaria com bloco de 19 cm de altura e junta de 1 cm de argamassa, esse valor pode ser estimado como 70% (setenta por cento) da resistência característica de compressão simples do prisma ( $f_{pk}$ ) (MOHAMAD, 2020), como demonstrado na Equação 7.

$$\frac{\gamma_f \cdot N_k}{A} \leq [1,0 \text{ ou } 0,9(\text{parede ou pilar})] * \frac{0,7 * f_{pk}}{\gamma_m} * \left[ 1 - \left( \frac{h_e}{40 * t_e} \right)^3 \right] \quad (7)$$

Onde:

$\gamma_f, \gamma_m$ : coeficientes de ponderação das ações e resistências;

$N_k$ : força normal característica;

$f_{pk}$ : resistência característica à compressão do prisma;

$h_e$  e  $t_e$ : altura efetiva e espessura efetiva.

### 2.4.9 Cisalhamento na alvenaria

As paredes de alvenaria estrutural têm sua resistência ao cisalhamento ( $f_{vk}$ ) calculada a partir da resistência média da argamassa ( $f_a$ ) à compressão e da tensão

de pré-compressão ( $\sigma$ ), considerando um coeficiente de ponderação das ações permanentes de 0,9, como apresenta a Tabela 4 (MOHAMAD, 2020).

Tabela 4 – Resistência ao cisalhamento

Resistência média de compressão da argamassa (MPa)			
	1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	acima de 7,0
$f_{vk}$	$0,10+0,5 \sigma \leq 1,0$	$0,15+0,5 \sigma \leq 1,4$	$0,35+0,5 \sigma \leq 1,7$

Fonte: adaptada de NBR 16868-1 (ABNT, 2020a).

Quando houver armadura perpendicular ao plano de cisalhamento, a resistência ao cisalhamento é obtida pelas Equações 8 e 9.

$$f_{vk} = 0,35 + 17,5 * \rho \leq 0,7 \text{ MPa} \quad (8)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b*d} \quad (9)$$

Onde:

$f_{vk}$ : resistência característica;

$\rho$ : taxa geométrica de armadura;

$A_s$ : área da armadura principal de flexão;

$b$ : largura da seção transversal;

$d$ : altura útil da seção transversal.

Conforme Parsekian e Soares (2010), a Equação 10 representa a verificação da parede ao cisalhamento.

$$\frac{f_{vk}}{\gamma_m} \geq \frac{V_k * \gamma_f}{b*d} \quad (10)$$

Onde:

$f_{vk}$ : resistência característica ao cisalhamento;

$\gamma_f, \gamma_m$ : coeficientes de ponderação das ações e resistências;

$V_k$ : esforço cortante, devido ao carregamento;

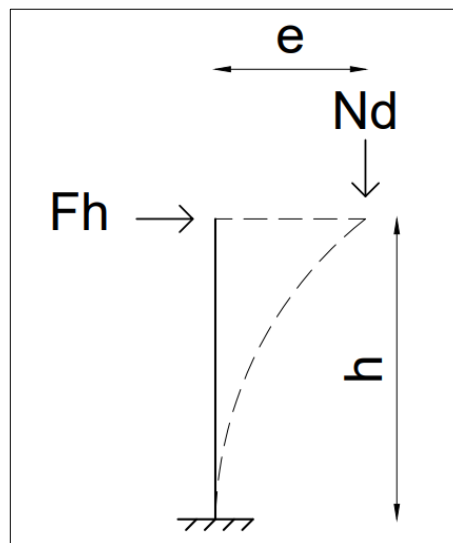
$b$ : largura da seção transversal;

$d$ : altura útil da seção transversal.

#### 2.4.10 Estabilidade global do edifício

Conforme a NBR 16868-1, na verificação da estabilidade global de edifícios, os efeitos de segunda ordem, que são aqueles provocados por deformações, não podem ser superiores a 10% (dez por cento) dos efeitos de primeira ordem, os quais são provocados pelas cargas (ABNT, 2020a). Quanto maior o parâmetro  $y_z$ , maior será o efeito de segunda ordem, em relação ao de primeira ordem, com isso, mais instável será a estrutura. A força horizontal  $F_h$  é obtida por meio da divisão entre o momento atuante na direção A e a altura da edificação, representado na Figura 13.

Figura 13 – Efeito de segunda ordem em edificações



Fonte: adaptada de Mohamad (2020).

#### 2.4.11 Dimensionamento de alvenaria à compressão simples

De acordo com Mohamad (2020), as combinações últimas das ações definem a segurança estrutural para a edificação. As resistências à compressão simples, em paredes e pilares, são obtidas pelas Equações 11 e 12.

$$Nrd = f_d * A * R \text{ (para paredes)} \quad (11)$$

$$Nrd = 0,9 * f_d * A * R \text{ (para pilares)} \quad (12)$$

Onde:

**$Nrd$** : força normal resistente de cálculo da alvenaria;

**$f_d$** :  $f_k/y_m$  = resistência à compressão de cálculo da alvenaria;

**A**: área da seção resistente;

**R**:  $[1 - (\frac{\lambda}{40})^3]$ : coeficiente redutor da resistência devido à esbeltez da parede.

#### 2.4.12 Dimensionamento da resistência da alvenaria

Para determinar a resistência característica da alvenaria, deve-se utilizar a combinação mais desfavorável para inserir na Equação 13 (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

$$f_{alv_d} \geq f_{alv_k} * \left(\left(\frac{1}{\gamma_m}\right)\right) \quad (13)$$

Onde:

**$f_{alv_k}$** : tensão mais desfavorável;

**$\gamma_m$** : coeficiente de ponderação das resistências;

**$f_{alv_d}$** : resistência característica da alvenaria.

A Equação 14 é utilizada para determinação da resistência característica do prisma.

$$f_{pk} = \frac{f_{alv_k}}{0,7} \quad (14)$$

Onde:

**$f_{pk}$** : resistência do prisma;

**$f_{alv_k}$** : tensão mais desfavorável.

#### 2.4.13 Tensões

Para o cálculo das tensões, Parsekian e Soares (2010) apresentam a Equação 15.

$$\sigma = \frac{0,9 * G}{t * 1 * 10^3} \quad (15)$$

Onde:

**G**: carga permanente;

**t**: espessura da parede;

**$\sigma$** : tensão de pré-compressão.

#### 2.4.14 Cargas concentradas

No caso de cargas concentradas, recomenda-se que essas cargas sejam apoiadas por uma cinta ou verga. Conforme a norma, sempre que a espessura de contato for maior que 5 cm ou  $t/3$ , pode se considerar um aumento de 50% (cinquenta por cento) na resistência à compressão (PARSEKIAN; SOARES, 2010).

Para se dimensionar a carga concentrada, deve-se seguir as Equações 16 e 17.

$$\frac{P_k \cdot \gamma_f}{a \cdot b} \leq 1,5 * 0,7 * \frac{f_{pk}}{\gamma_m} \text{ se } a \geq \frac{t}{3} \text{ ou } 5cm \quad (16)$$

ou

$$\frac{P_k \cdot \gamma_f}{a \cdot b} \leq 0,7 * \frac{f_{pk}}{\gamma_m} \text{ se } a < \frac{t}{3} \text{ ou } 5cm \quad (17)$$

Onde:

**a**: largura de apoio;

**b**: largura da viga;

$\gamma_f, \gamma_m$ : coeficientes de ponderação das ações e resistências;

**t**: espessura da parede;

**P<sub>k</sub>**: cargas concentradas;

**f<sub>pk</sub>**: resistência do prisma.

#### 2.4.15 Projeto hidráulico

Segundo Nese e Tauil (2010), a tubulação deve ser prevista antes de iniciar a obra, pois isso previne desperdícios e gera economia. A seguir, são apresentadas algumas das recomendações:

- a) buscar utilizar paredes que não contenham graute, para embutir as tubulações dentro dos furos dos blocos;
- b) criar passagens do tipo *shafts*;
- c) utilizar paredes com espessuras menores, com posterior enchimento da diferença de espessura;
- d) no caso em que não seja possível utilizar blocos especiais, os blocos devem ser cortados antes do seu assentamento;

e) nos banheiros e cozinhas, deve-se projetar o mais próximo possível os pontos de tubulação, pois, assim, se tem uma economia de espaço na arquitetura e uma redução de *shafts*.

Para uma boa compatibilização, é necessário que os projetos hidrossanitários e elétricos sejam combinados, a fim de evitar sobreposições, possíveis conflitos com os pontos de graute e rasgos que geram desperdícios e retrabalhos (NESE; TAUIL, 2010).

A Figura 14 apresenta tubulações que estão aparentes na foto, porém, posteriormente, será realizado um fechamento do tipo *shaft*.

Figura 14 – Exemplo de instalação hidrossanitária



Fonte: Nese e Tauil (2010).

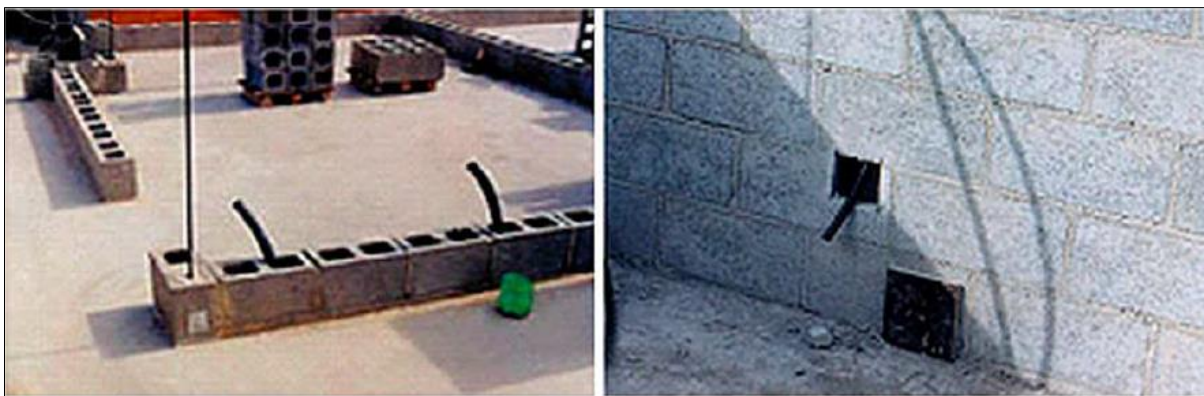
#### 2.4.16 Projeto elétrico

Segundo Nese e Tauil (2010), o projeto elétrico deve seguir as posições do mobiliário do projeto arquitetônico, enquanto os pontos elétricos devem aparecer no projeto executivo, nas elevações das paredes. Os eletrodutos devem ser alocados em blocos vazados; já as caixas de tomadas e interruptores, podem ser cortadas antes do assentamento, conforme necessário.

Na Figura 15, está representado um exemplo de passagem de eletroduto dentro dos furos verticais e o corte do ponto de luz.



Figura 15 – Exemplo de instalação elétrica em alvenaria estrutural



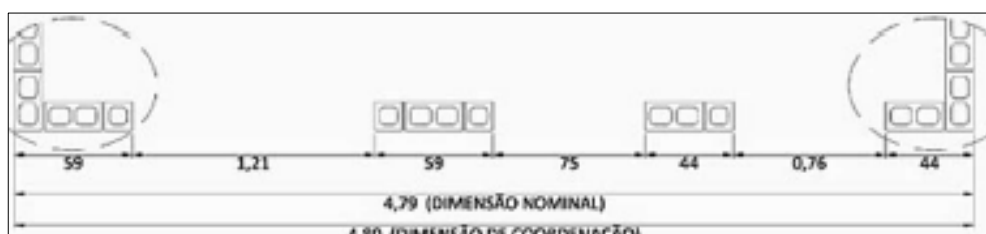
Fonte: Nese e Tauil (2010).

#### 2.4.17 Projeto executivo

Segundo Mohamad (2020), para se ter uma boa produção na obra, devem ser apresentadas as plantas da primeira e segunda fiadas, a paginação das paredes, a posição dos pontos, tanto elétricos, como hidráulicos, vergas e contravergas, e os pontos de graute, com a especificação da armadura. Com este nível de detalhe, é possível uma aceleração no processo construtivo, sendo capaz de evitar erros de compatibilização.

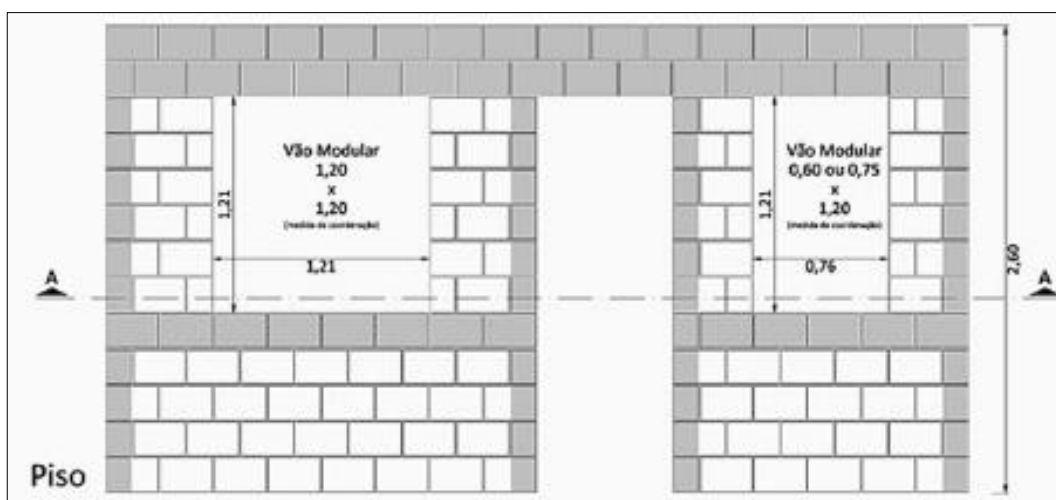
O projeto executivo possui a importância de demonstrar os pontos a serem grauteados, as armaduras e o tipo de bloco estrutural a ser utilizado. Observa-se, na Figura 16, a modulação da primeira fiada de uma parede e, na Figura 17, apresenta-se a elevação do mesmo projeto.

Figura 16 – Exemplo de projeto executivo em alvenaria estrutural



Fonte: Parsekian e Soares (2010).

Figura 17 – Modulação vertical



Fonte: Nese e Tauil (2010).

Segundo Nese e Tauil (2010), o projeto executivo deve seguir recomendações, conforme desempenho e resistências estabelecidas pelo projetista, para evitar problemas e retrabalhos. As principais recomendações que devem aparecer no projeto executivo são:

- a) as resistências e os tipos de blocos;
- b) as resistências à compressão das argamassas, prismas e grautes;
- c) controlar as juntas argamassadas de 1 cm, conferir prumos, alinhamentos;
- d) controlar as condições climáticas, tanto de calor, como de frio ou chuva, para manter um padrão de resistência na argamassa;
- e) as juntas de dilatações devem ser previstas no projeto, pois permitem a movimentação dos elementos e evitam futuras fissuras.

Mohamad (2020) apresenta dois tipos de juntas, que são apresentadas também nas NBR 15820 e NBR 16868-1, e se dividem em:

- a) **junta de dilatação**: é um espaço entre elementos de concreto, para que a estrutura possa se movimentar, a fim de aliviar tensões entre elementos estruturais. Elas devem ser previstas a cada 24 metros;
- b) **junta de controle**: tem a função de permitir movimentos da alvenaria, sem prejudicar seu funcionamento, criadas para absorver expansões térmicas e retrações da alvenaria, garantindo o deslizamento entre os planos, sem produzir tensões de cisalhamento. Normalmente, empregadas nas alvenarias. Elas devem ser previstas, conforme a Tabela 5, apresentada abaixo.

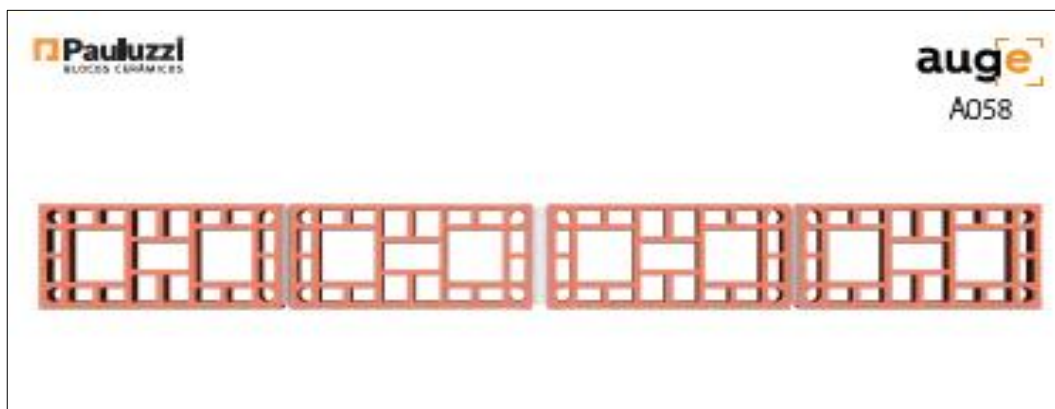
Tabela 5 – Valores máximos entre juntas de controle

Material	Localização do elemento	Espaçamento máximo entre juntas verticais de controle m			
		Alvenaria sem armadura horizontal		Alvenaria com taxa de armadura horizontal maior ou igual a 0,04 % da seção transversal (altura · espessura)	
		$t \geq 14$ cm	$t < 14$ cm	$t \geq 14$ cm	$t < 14$ cm
Cerâmica	Externa	10	8	12	9
	Interna	12	10	15	12
Concreto	Externa	7	6	9	8
	Interna	12	10	15	12

Fonte: NBR 18868-1 (2020).

A Figura 18 apresenta o exemplo de uma junta de controle entre alvenaria estrutural.

Figura 18 – Exemplo de juntas de controle



Fonte: Pauluzzi Blocos Cerâmicos (2018).

#### 2.4.18 Controle de obra

Conforme Roman, Mutti e Araújo (1999), a obra deve ser planejada antes de iniciada, para que a racionalização da alvenaria estrutural seja adequada. A otimização do cronograma e do controle de obra ocorre seguindo alguns parâmetros:

- definir as tarefas;
- verificar as tarefas anteriores;
- definir as equipes;
- cuidar o tempo de execução das tarefas, fazendo, assim, um controle da produtividade de cada equipe;

- e) eliminar tarefas desnecessárias;
- f) definir a sequência da obra, conforme a localização dos equipamentos e dos materiais;
- g) evitar acúmulo de pessoas e materiais em serviços que não necessitem.

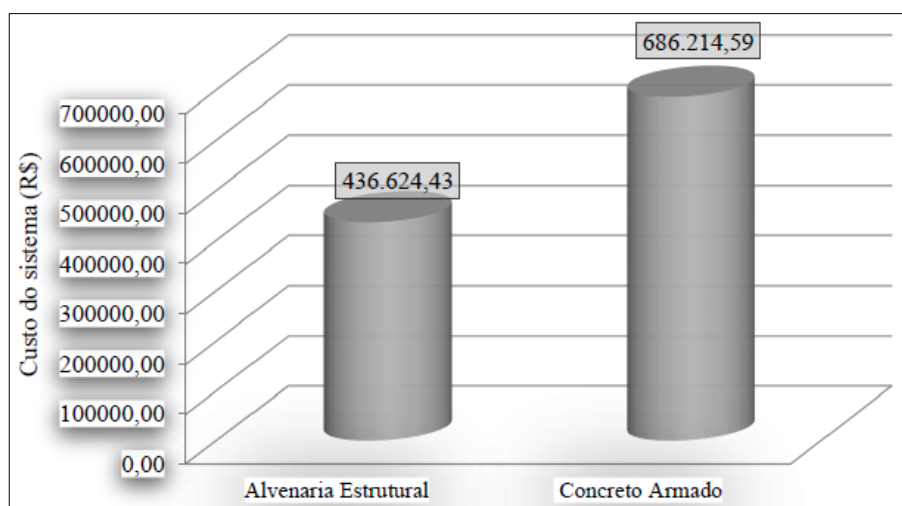
## 2.5 Trabalhos semelhantes

De acordo com Olivier (2016), a diferença nos dois sistemas construtivos, relacionada à mão de obra, é que, na alvenaria estrutural, se utilizam menos profissionais, como carpinteiros e armadores, pelo fato do sistema construtivo não utilizar formas e apresentar menos armaduras; já com relação aos materiais, no concreto armado, se utiliza mais concreto, armadura e forma, enquanto, na alvenaria estrutural, como o bloco fornece a função estrutural, se utiliza menor quantidade destes materiais.

Em trabalhos utilizados como base e auxílio, percebe-se que a alvenaria estrutural gera uma economia em torno de 30% (trinta por cento). A seguir, serão apresentados gráficos que demonstram os resultados comentados.

Dellatorre (2014), em seu trabalho de conclusão acadêmica, obteve uma vantagem de 36,37% (trinta e seis inteiros e trinta e sete centésimos por cento) em relação ao custo do sistema de alvenaria estrutural, sobre o sistema de concreto convencional, em um edifício de sete pavimentos tipos, conforme representado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparativo de custo global entre os dois métodos construtivos (I)

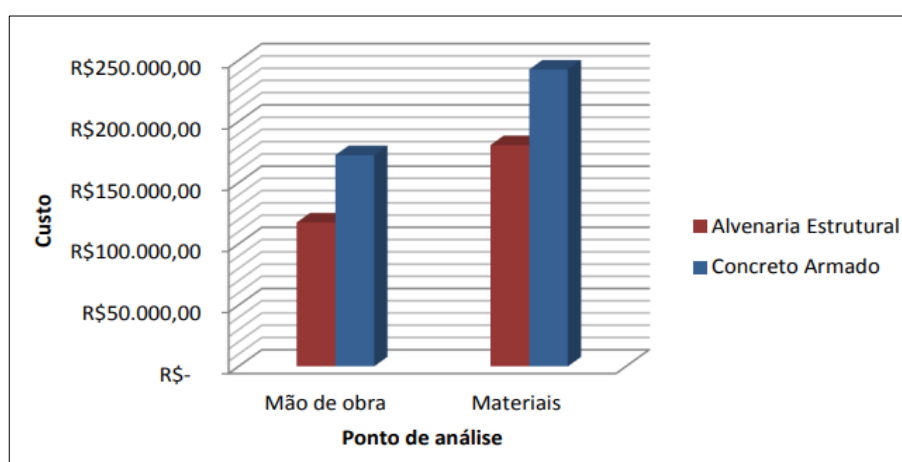


Fonte: Dellatorre (2014).

Como se observa, mesmo a alvenaria estrutural tendo um custo muito maior para a execução, a economia que este método gera está no material, com a ausência dos pilares e vigas, diminuindo o custo total da obra (OLIVIER, 2016).

O estudo realizado por Olivier (2016) obteve uma economia de aproximadamente 28% (vinte e oito por cento) entre a alvenaria estrutural e o concreto armado convencional, em um edifício de quatro pavimentos tipos, comparando materiais e mão de obra, conforme apresentado no Gráfico 2.

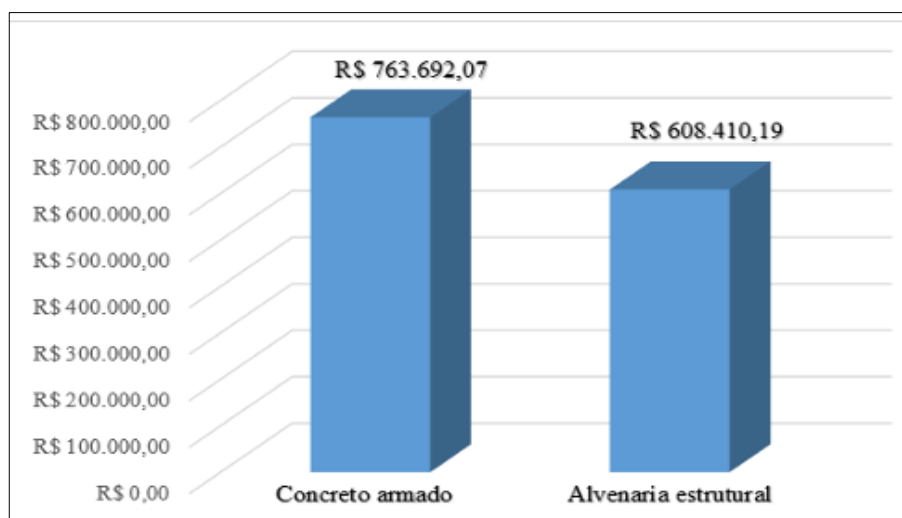
Gráfico 2 – Comparativo de custo global entre os dois métodos construtivos (II)



Fonte: Olivier (2016).

Silva (2020) obteve uma economia de aproximadamente 20,33% (vinte inteiros e trinta e três centésimos por cento) em uma comparação da alvenaria estrutural e do concreto armado convencional, em um edifício de oito pavimentos tipos, comparando apenas materiais e mão de obras, conforme apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Comparativo de custo global entre os dois métodos construtivos (III)



Fonte: Silva (2020).

No presente estudo, será elaborado um comparativo dos dois métodos construtivos sobre a supraestrutura, contemplando apenas mão de obra e materiais, sem incluir BDI (benefícios e despesas indiretas).

## 2.6 Pontos positivos e negativos da alvenaria estrutural

Conforme Ramalho e Corrêa (2003), quando se apresenta um novo sistema construtivo, torna-se necessário discutir aspectos técnicos e econômicos, a fim de descobrir as vantagens e desvantagens do sistema.

### 2.6.1 Pontos positivos

De acordo com Mohamad, Machado e Jantsch (2017), em comparação ao custo, normalmente é mais econômica a utilização da alvenaria estrutural, por ter apenas uma etapa na supraestrutura, na qual engloba a estrutura e a vedação, além de não utilizar formas de madeiras e apresentar redução no concreto e armadura, obtendo, assim, economia em revestimento.

“Muito se discute quanto à altura em que os métodos construtivos são economicamente viáveis. No caso de altura, considerando-se parâmetros atuais do Brasil, pode-se afirmar que a alvenaria estrutural é adequada a edifícios de, no máximo, 15 ou 16 pavimentos” (BERTI; RAFAEL, 2019, p. 42).

### 2.6.2 Pontos negativos

Segundo Mohamad, Machado e Jantsch (2017), a alvenaria estrutural apresenta cinco pontos negativos:

- a) restrição de arquiteturas mais diferenciadas de usos e ocupações;
- b) impossibilidade de execução de alterações no projeto original;
- c) vãos livres menores;
- d) não devem ser executados vãos em balanço;
- e) não é possível a execução de paredes muito altas.

“Para edifícios comerciais ou residenciais de alto padrão, que demandam arquitetura diferenciada, com vãos maiores, a alvenaria estrutural não é indicada, por possuir restrições quanto às dimensões dos vãos” (OLIVIER, 2016, p. 18).

## 2.7 Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil

O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) foi implementado em 1969, em parceria com o IBGE. Inicialmente, foi criado para fornecer informações sobre custos e índices da construção civil habitacional, sendo adotado pela Caixa em 1986, após a extinção do BNH. Depois, tornou-se um sistema corporativo, utilizado como referência de custos e índices para obras habitacionais no Brasil (CAIXA, 2014).

O SINAPI tem por objetivo a produção de séries mensais de custos e índices para o setor habitacional, além de séries mensais de salários medianos de mão de obra e preços medianos de materiais, máquinas, equipamentos e serviços da construção para os setores de saneamento básico, infraestrutura e habitação (IBGE, 2022).

O sistema é uma produção conjunta do IBGE e da Caixa, realizada por meio de acordo de cooperação técnica, cabendo ao instituto a responsabilidade da coleta, apuração e cálculo, enquanto à Caixa, a definição e manutenção dos aspectos de engenharia, tais como projetos, composições de serviços, etc. As estatísticas são fundamentais na programação de investimentos, sobretudo para o setor público. Os preços e custos auxiliam na elaboração, análise e avaliação de orçamentos, enquanto os índices possibilitam a atualização dos valores das despesas nos contratos e orçamentos (IBGE, 2022).

### 3 ESTUDO COMPARATIVO

Este estudo apresenta um comparativo entre os sistemas construtivos de alvenaria estrutural e de concreto armado.

#### 3.1 Metodologia

A parte prática do estudo foi dividida em três etapas:

- a) **1° etapa:** escolher o edifício na cidade de Esteio (RS), que foi executado em concreto armado e, após, a realização do edifício em alvenaria estrutural, seguindo o projeto arquitetônico e adequar para a execução em Alvenaria Estrutural onde for necessário;
- b) **2° etapa:** analisar e definir os subsistemas que são semelhantes dos dois processos construtivos;
- c) **3° etapa:** realizar os orçamentos dos dois sistemas construtivos.

#### 3.2 Edifício do estudo de caso

O objeto de estudo se trata de um edifício localizado na cidade de Esteio (RS), na Avenida Padre Claret, denominado de Firenze (Figura 19), produzido em concreto armado.

É um edifício residencial, com área total de 6454,16 m<sup>2</sup> (seis mil quatrocentos e cinquenta e quatro metros e dezesseis décímetros quadrados), executado em estrutura de concreto armado, constituído de nove pavimentos tipos e dois pavimentos de áreas comuns, com um total de trinta e seis apartamentos e áreas comuns no primeiro e segundo pavimento. As unidades são compostas de dois ou três quartos, sendo uma suíte, tendo banheiro social, sala de estar/jantar e cozinha, com área de serviço conjugada. como mostra o Anexo A na planta baixa do pavimento tipo. Já na Figura 20, é apresentado um modelo 3D modelado, através da planta de alvenaria estrutural, trazendo assim uma noção de como seria o edifício executado conforme o comparativo.



Figura 19 – Fachada do Edifício Firenze



Fonte: Construtora (2022).

Para o comparativo deste estudo, foram considerados apenas os pavimentos tipos, tendo, assim, o edifício nove andares, visto que os dois primeiros andares não são iguais ao pavimento tipo, necessitando utilizar *pilotis*, para vencer os vãos. Sendo assim, o edifício terá  $460,18 \text{ m}^2$  (quatrocentos e sessenta metros e dezoito decímetros quadrados) por pavimento, com um total de  $4141,62 \text{ m}^2$  (quatro mil cento e quarenta e um metros e sessenta e dois decímetros quadrados).

Figura 20 – Perspectiva do edifício com nove pavimentos



Fonte: elaborada pelo autor (2022).

### 3.3 Escolha dos subsistemas

Os subsistemas estrutura( em concreto armado são as vigas e pilares, já em alvenaria estrutural é a armação dos blocos) e vedação (em concreto armado é a alvenaria de vedação, e em alvenaria estrutural é a alvenaria com bloco estrutural) serão analisados para o comparativo deste estudo, pois são os que apresentam um percentual maior no custo de uma obra e, também, por apresentarem uma elevada variação entre os dois sistemas construtivos. Os projetos, as fundações, a escada, as lajes, o hidrossanitário, as instalações elétricas e a pintura são subsistemas comuns entre os dois sistemas construtivos, não representando diferença significativa para este comparativo de custo.

### 3.4 Definição da proposta de estudo

- a) Sistema estrutural:
  - concreto armado;
  - alvenaria estrutural;
- b) altura da edificação:
  - edifício de nove pavimentos, onde serão considerados do terceiro pavimento até o décimo primeiro pavimento do edifício executado em estrutura de concreto armado.
- c) etapas consideradas:
  - estrutura;
  - vedação: neste item foram considerados, para a estrutura de concreto armado, a vedação e, para a alvenaria estrutural, a quantidade de blocos;
- d) serviços e insumos:
  - concreto;
  - aço;
  - formas;
  - alvenaria (parede, aço, graute).

### 3.5 Projeto estrutural de alvenaria estrutural

#### 3.5.1 Materiais e carregamentos verticais

Conforme a bibliografia estudada, o projeto foi desenvolvido seguindo as normas técnicas. Os carregamentos verticais estão representados nos Quadros 5 a 8.

Quadro 5 – Carregamento da parede

Parede	1,1	kN/m <sup>2</sup>
Revestimento externo	0,38	kN/m <sup>2</sup>
Revestimento interno	0,285	kN/m <sup>2</sup>
Total	1,765	kN/m <sup>2</sup>
Graute a cada 2 furos	0,6	kN/m <sup>2</sup>
Graute a cada furos	1,2	kN/m <sup>2</sup>

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Quadro 6 – Peso próprio da parede

Sem abertura	4,878	kN/m
Com abertura portas	0,918	kN/m
Com abertura janela	3,078	kN/m

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

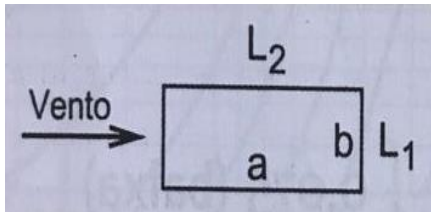
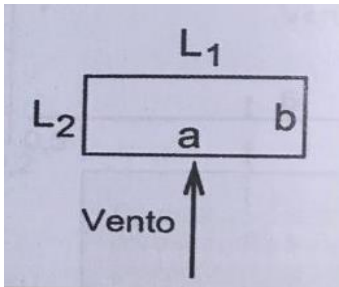
Quadro 7 – Carregamento das lajes

Pavimento tipo		
q	1,5	kN/m <sup>2</sup>
g	3,25	kN/m <sup>2</sup>
e (9 cm)	2,25	kN/m <sup>2</sup>
Revestimento e piso	1	kN/m <sup>2</sup>
Total	8	kN/m <sup>2</sup>
Cobertura		
q	1,5	kN/m <sup>2</sup>
g	3,25	kN/m <sup>2</sup>
e (9 cm)	2,25	kN/m <sup>2</sup>
Impermeabilização	1	kN/m <sup>2</sup>
Total	8	kN/m <sup>2</sup>
Escada		
q	2,5	kN/m <sup>2</sup>
g	2	kN/m <sup>2</sup>
Total	4,5	kN/m <sup>2</sup>
Ático		

q	7,5	kN/m <sup>2</sup>
g	2,5	kN/m <sup>2</sup>
Total	10	kN/m <sup>2</sup>
<b>Fundo da caixa d'água</b>		
g	4,75	kN/m <sup>2</sup>
Água	250	kN
	4,75	kN/m <sup>2</sup>

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Quadro 8 – Carregamento do vento

<b>Cidade:</b>	Esteio (RS)				$V_0$	45 m/s				
<b>Uso da edificação:</b>	Residencial				$S_3$	1				
<b>Tipo de topografia:</b>	Terreno aberto				$S_1$	1				
<b>Maior dimensão:</b>	23,88	<b>Classe:</b>	B	<b>Categoria:</b>	IV					
<b>Altura total (h):</b>	25,2	<b>Turbulência:</b>	alta		baixa					
	<b>Vento X</b>					<b>Vento Y</b>				
										
	L1	23,88	L1/L2	1,07	L1	22,38	L1/L2	0,94		
	L2	22,38	H/L1	1,06	L2	23,88	H/L1	1,13		
	Ca	1,15			Ca	1,1				
<b>z(m)</b>	<b>S<sub>2</sub></b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>	<b>q(kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fa(kN)</b>	<b>V<sub>k</sub>(m/s)</b>	<b>q(kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>A(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fa(kN)</b>	
2,8	0,72	32,62	0,65	66,86	50,17	32,62	0,65	62,66	47,01	
5,6	0,79	35,58	0,78	66,86	59,66	35,58	0,78	62,66	55,91	
8,4	0,83	37,43	0,86	66,86	66,02	37,43	0,86	62,66	61,87	
11,2	0,86	38,80	0,92	66,86	70,94	38,80	0,92	62,66	66,49	
14	0,89	39,89	0,98	66,86	75,01	39,89	0,98	62,66	70,30	
16,8	0,91	40,81	1,02	66,86	78,51	40,81	1,02	62,66	73,58	
19,6	0,92	41,61	1,06	66,86	81,60	41,61	1,06	62,66	76,47	
22,4	0,94	42,31	1,10	66,86	84,37	42,31	1,10	62,66	79,07	
25,2	0,95	42,93	1,13	66,86	86,89	42,93	1,13	62,66	81,43	

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Onde:

**L1 e L2:** lados do edifício;

**Ca:** coeficiente de arrasto;

**S<sub>1</sub>:** fator topográfico (conforme a norma, por ser um terreno plano, utilizou-se 1);

**S<sub>2</sub>:** fator de rugosidade do terreno (conforme a norma, por se tratar de classe B, categoria IV, por apresentar a maior dimensão entre 20 e 50 metros e a categoria, pelo terreno apresentar muitos obstáculos, obtendo assim uma variação por mudar a altura do edifício, utilizou-se o valor variado apresentado na coluna 2);

**S<sub>3</sub>:** fator estatístico em função do uso da edificação (utilizado 1, por ser edificação para hotéis e residências);

**Z:** altura do edifício, de andar em andar;

**V<sub>0</sub>:** velocidade inicial, obtida através do gráfico de isopletras (conforme a norma, neste caso, 45 m/s);

**V<sub>k</sub>:** velocidade característica;

**q:** pressão estática do vento;

**A:** área da fachada;

**Ca:** coeficiente de arrasto.

### 3.5.2 Carregamento vertical por parede

Para o carregamento vertical das paredes, foram utilizados os eixos das paredes e as medidas conforme os vãos de aberturas, dividindo as paredes em X (horizontal) e Y (vertical).

Através da planta apresentada no Apêndice C, foram calculadas as cargas permanentes e acidentais totais de pavimento e total da estrutura de nove pavimentos, as quais são representadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Carga vertical do projeto

<b>q</b>	1.746,706	kN
<b>g</b>	821,6805	kN
<b>Total pavimento</b>	2.568,387	kN
<b>Total</b>	23.115,48	kN

Fonte: elaborada pelo autor (2022).

### 3.5.3 Verificação da estabilidade de uma parede resistente

Para uma simplificação do estudo, optou-se em verificar a maior parede do pavimento tipo, que possui 9,8 metros, para, assim, poder chegar à resistência necessária do bloco. Foram utilizados os valores apresentados na Tabela 6, para definir a carga da parede de estudo e obter os carregamentos verticais permanentes ( $G_k$ ) e acidentais ( $Q_k$ ), que são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Carregamento da parede resistente

Pavimento	GK (kN/m)	QK (kN/m)	G+Q
9	11,31	0,72	12,03
8	21,52	2,89	24,41
7	31,74	5,05	36,80
6	41,96	7,22	49,18
5	52,17	9,39	61,56
4	62,39	11,55	73,94
3	72,61	13,72	86,33
2	82,82	15,89	98,71
1	93,04	18,05	111,09

Fonte: elaborada pelo autor (2022).

### 3.5.4 Tensões

Os cálculos das tensões, da maior parede do projeto, desenvolvidos no software Microsoft Excel, calculados do primeiro ao quarto pavimento, são apresentados a seguir. Com estas tensões, se obteve a resistência do bloco necessária. A verificação da tração nas paredes está demonstrada nos itens 2.4, seguindo as recomendações das normas técnicas vigentes.

Nos Quadros 9 a 12, são apresentados os cálculos do primeiro ao quarto pavimento, para saber se os blocos estruturais apresentam resistência adequada aos esforços solicitantes. Não foi necessário calcular do quinto ao nono pavimento, pois, no quarto pavimento, a resistência necessária de bloco já era inferior a menor resistência de bloco existente no mercado.

Seguem algumas explicações sobre os campos dos Quadros 9 a 12:

- a)  $F_{alv,cg}$ : são as tensões de compressão provocadas pelas cargas permanentes de compressão;
- b)  $F_{alv,cq}$ : são as tensões de compressão provocadas pelas cargas acidentais de compressão;
- c)  $F_{alv,fm}$ : são as tensões de flexo-tração e compressão provocadas pelo momento fletor;
- d) as combinações conforme apresentadas no item 2.4.6;
- e) a célula verde indica que não é necessário armar a parede, por não existir tração;
- f)  $f_{alvd}$ : é a resistência característica da alvenaria;
- g)  $f_{pk}$ : é a resistência característica do prisma;
- h)  $f_{bk}$ : é a resistência característica do bloco, calculada, mas, como o fabricante somente fornece blocos de 8, 10 e 15 MPa, adotou-se, na célula em amarelo, a resistência do bloco adotada, conforme fabricante;
- i)  $f_{am}$ : é a resistência da argamassa necessária, e na célula azul mostra a resistência adotada;
- j)  $\sigma$ : é a tensão de pré-compressão;
- k)  $f_{vk}$ : é a resistência característica ao cisalhamento;
- l) a tensão ao cisalhamento é verificada através de  $f_{vk} < 1,7$  e  $t_d < f_{vd}$  e, quando as duas células estiverem em cinza, representa que atendem aos requisitos.

Quadro 9 – Cálculo da parede resistente no 1º pavimento

Tensões		
$F_{alv,cg}$	0,66	MPa
$F_{alv,cq}$	0,13	MPa
$F_{alv,fm}$	1,94	MPa
Combinações últimas		
Combinação 1	1,27	MPa
Combinação 2	2,12	Não há tração
Combinação 3	-2,98	MPa
Combinação 4	-2,36	MPa
Resistência característica da alvenaria		
$f_{alv,d}$	4,25	MPa
Resistência característica do prisma		
$f_{pk}$	6,07	MPa

Resistência característica do bloco		
$F_{bk}$	12,14	MPa
Adotado	15,00	MPa
$F_{am}$	10,50	MPa
Adotado	10,00	MPa
Verificação ao cisalhamento		
$\sigma$	0,60	MPa
$f_{vk}$	0,65	MPa
$d$	0,27	MPa
$f_{vd}$	0,32	MPa

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Quadro 10 – Cálculo da parede resistente no 2º pavimento

Tensões		
$F_{alv,cg}$	0,59	MPa
$F_{alv,cq}$	0,59	MPa
$F_{alv,fm}$	1,42	MPa
Combinações últimas		
Combinação 1	1,89	MPa
Combinação 2	1,46	Não há tração
Combinação 3	-2,75	MPa
Combinação 4	-2,69	MPa
Resistência característica da alvenaria		
$f_{alv,d}$	2,92	MPa
Resistência característica do prisma		
$f_{pk}$	4,17	MPa
Resistência característica do bloco		
$f_{bk}$	8,34	MPa
Adotado	10,00	MPa
$f_{am}$	7,00	MPa
Adotado	6,00	MPa
Verificação ao cisalhamento		
$\sigma$	0,53	MPa
$f_{vk}$	0,62	MPa
$t_d$	0,26	MPa
$f_{vd}$	0,31	MPa

Fonte: elaborado pelo autor (2022).



Quadro 11 – Cálculo da parede resistente no 3º pavimento

(continua)

Tensões		
$F_{alv,cg}$	0,52	MPa
$F_{alv,cq}$	0,52	MPa
$F_{alv,fm}$	1,10	MPa
Combinações últimas		
Combinação 1	1,66	MPa
Combinação 2	1,07	Não há tração
Combinação 3	-2,27	MPa
Combinação 4	-2,28	MPa
Resistência característica da alvenaria		
$f_{alv,d}$	2,15	MPa
(conclusão)		
Resistência característica do prisma		
$f_{pk}$	3,06	MPa
Resistência característica do bloco		
$f_{bk}$	6,13	MPa
Adotado	8,00	MPa
$f_{am}$	4,90	MPa
Adotado	6,00	MPa
Verificação ao cisalhamento		
$\sigma$	0,47	MPa
$f_{vk}$	0,58	MPa
$t_d$	0,23	MPa
$f_{vd}$	0,29	MPa

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Quadro 12 – Cálculo da parede resistente no 4º pavimento

Tensões		
$F_{alv,cg}$	0,45	MPa
$F_{alv,cq}$	0,45	MPa
$F_{alv,fm}$	0,81	MPa
Combinações últimas		
Combinação 1	1,43	MPa
Combinação 2	0,73	Não há tração
Combinação 3	-1,82	MPa
Combinação 4	-1,88	MPa
Resistência característica da alvenaria		
$f_{alv,d}$	1,46	MPa

Resistência característica do prisma		
$f_{pk}$	2,09	MPa
Resistência característica do bloco		
$f_{bk}$	4,17	MPa
Adotado	8,00	MPa
$f_{am}$	4,90	MPa
Adotado	6,00	MPa
Verificação ao cisalhamento		
$\sigma$	0,40	MPa
$f_{vk}$	0,55	MPa
$t_d$	0,27	MPa
$f_{vd}$	0,28	MPa

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

### 3.6 Descrição dos processos construtivos

Nesta seção, serão apresentados os processos construtivos utilizados para a execução dos dois sistemas de construção.

#### 3.6.1 Processo construtivo de concreto armado

O edifício foi executado em concreto armado, tendo sido realizada fundação profunda, do tipo estacas moldadas “*in loco*”, com diâmetro de até um metro. Sobre estas, foram feitos os blocos de coroamento, com dimensões variáveis e, após, executadas as vigas de baldrame.

A supraestrutura realizada é constituída por pilares, alvenaria de vedação, vigas e laje treliçada, cujas dimensões são apresentadas no Anexo A. Por ser um edifício de concreto armado, foram utilizados blocos cerâmicos com furos na horizontal, nas dimensões 14x19x29 cm e 19x19x29 cm, assentados com argamassa feita no canteiro de obras.

O engenheiro responsável adotou, nas especificações do projeto, a resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ), com o valor de 30 MPa, aços CA-50 e CA-60.

### 3.6.2 Processo construtivo em alvenaria estrutural

A fim de conseguir os dados necessários para a comparação entre os dois sistemas, foi projetado o edifício deste estudo em alvenaria estrutural, conforme apresentado nos Apêndices A e B, com a modulação da primeira e segunda fiadas do pavimento tipo, com o cálculo das paredes que recebem o carregamento realizado pelo método de paredes isoladas no Apêndice C.

Será considerado, para o subsistema estrutura, vigas de respaldo (cinta de amarração na última fileira), vergas e contravergas, utilizando, em sua composição, aço CA-50. No subsistema de vedação, serão utilizados blocos cerâmicos, com dimensões de 14x19x29 cm, com resistência de 4 MPa a 16 MPa, e argamassa de assentamento de resistência à compressão de 4 a 10 MPa, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005). O graute utilizado será no traço 1:2:2 (cimento :areia :pedrisco), conforme apresentado anteriormente na Tabela 1. Para as cintas, vergas e contravergas, será utilizado aço CA-50 10 mm, já para os pontos de graute, serão utilizadas barras de 10 mm.

## 4 COMPARATIVO DE CUSTO ENTRE ALVENARIA ESTRUTURAL E CONCRETO ARMADO

Nesta seção, serão apresentados os detalhes e processos para a realização do comparativo entre os dois métodos construtivos.

### 4.1 Levantamento de quantitativos

Com os projetos em concreto armado e alvenaria estrutural, foram levantados os quantitativos fundamentais para a execução das alvenarias, pilares e vigas, que estão representados detalhadamente a seguir.

#### 4.1.1 Quantitativo em concreto armado

Com os elementos estruturais em concreto armado levantados, foi possível obter as quantidades de concreto, aço e área de fôrmas necessárias para a execução do sistema estrutural em concreto armado. Foram considerados nove aproveitamentos para as fôrmas. Já a consideração da mão de obra referente a cada serviço, está inclusa em cada item da planilha orçamentária. O projeto em concreto armado já estava detalhado pelo projetista, fato que facilitou a obtenção das quantidades de concreto, aço e a área total de fôrmas necessárias para este tipo de obra, conforme demonstrado no Quadro 13.

Quadro 13 – Quantidade de material para a obra em concreto armado

	Aço / Bitola (mm)	Quantidade (kg)	Concreto (m³)	Fôrmas (m²) 9 utilizações	Paredes (m²)
Pilares	Ø 5,0 mm	1.723,0	131,5	144,1	-
	Ø 12,5 mm	6.939,0			
	Ø 16,0 mm	6.102,0			
Vigas	Ø 5,0 mm	2.031,8	312,0	306,0	-
	Ø 12,5 mm	11.037,8			
	Ø 16,0 mm	7.554,5			
Paredes	Bloco de vedação 14x19x29 cm	-	-	-	4.850,0
	Vergas/contravergas até 1,5 m				302,0
	Vergas/contravergas maior que 1,5 m				328,0

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

O Quadro 14 apresenta os custos e quantidades dos materiais e mão de obra para a execução da superestrutura do edifício em concreto armado, sendo que estes foram orçados pelo SINAPI/RS, com base no mês de agosto de 2022.

Quadro 14 – Orçamento para a construção em concreto armado

(continua)

Código SINAPI	Item	Descrição da composição	Unid.	Quant.	Custo		
					Preço Unitário	Preço Total	
	<b>1</b>	<b>Superestrutura</b>					
	<b>1.1</b>	<b>Pilares</b>					
92759	1.1.1	Armadura de aço ca-60 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 5,0 mm, corte, dobra e montagem.	kg	1.723	R\$ 15,06	R\$ 25.948,38	
92763	1.1.2	Armadura de aço ca-50 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 12,5 mm, corte, dobra e montagem.	kg	6.939	R\$ 11,13	R\$ 77.231,07	
92764	1.1.3	Armadura de aço ca-50 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 16,0 mm, corte, dobra e montagem.	kg	6.102	R\$ 10,89	R\$ 66.450,78	
92269	1.1.4	Fabricação de fôrma para pilares e estruturas similares, em madeira serrada, E=25 mm	m <sup>2</sup>	144,06	R\$ 140,83	R\$ 20.287,97	
103672	1.1.5	Concretagem de pilares, $f_{ck}=25$ MPa, com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento	m <sup>3</sup>	131,53	R\$ 638,55	R\$ 83.988,48	
					<b>Total</b>	<b>R\$ 273.906,68</b>	
	<b>1.2</b>	<b>Vigas</b>					
92759	1.2.1	Armadura de aço ca-60 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 5,0 mm, corte, dobra e montagem.	kg	2.031,78	R\$ 15,06	R\$ 30.598,61	
92763	1.2.2	Armadura de aço ca-50 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 12,5 mm, corte, dobra e montagem.	kg	11037,81	R\$ 11,13	R\$ 122.850,83	
92764	1.2.3	Armadura de aço ca-50 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 16,0 mm, corte, dobra e montagem.	kg	7.554,54	R\$ 10,89	R\$ 82.268,94	
92269	1.2.4	Fôrma com chapa compensada plastificada, e= 12 mm, para pilares / vigas/lajes, oito utilizações (fabricação, montagem e desmontagem)	m <sup>2</sup>	306	R\$ 140,83	R\$ 43.093,98	
103674	1.2.5	Concretagem de vigas e lajes, $f_{ck}=25$ MPa, para lajes pré-moldadas com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento	m <sup>3</sup>	312,04	R\$ 614,99	R\$ 191.901,48	
					<b>Total</b>	<b>R\$ 470.713,83</b>	

(conclusão)

Código SINAPI	Item	Descrição da composição	Unid.	Quant.	Custo		
					Preço Unitário	Preço Total	
	<b>1.3</b>	<b>Paredes</b>					
103324	1.3.1	Alvenaria de vedação com blocos cerâmicos furados na vertical, 14x19x39 cm, espessura da parede 14 cm, juntas de 10 mm com argamassa de assentamento com preparo betoneira	m <sup>2</sup>	4.850	R\$ 60,43	R\$ 293.085,50	
93190	1.3.2	Verga/contra verga moldada <i>in loco</i> , com utilização do bloco canaleta para vãos de até 1,5 m	m	302	R\$ 45,48	R\$ 13.734,96	
93191	1.3.3	Verga/contra verga moldada <i>in loco</i> , com utilização do bloco canaleta para vãos maiores que 1,5 m	m	328	R\$ 47,94	R\$ 15.724,32	
					<b>Total</b>	<b>R\$ 322.544,78</b>	
					<b>Subtotal</b>	<b>R\$ 1.067.165,29</b>	

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

#### 4.1.2 Quantitativo em alvenaria estrutural

Com o dimensionamento e detalhamento do edifício em alvenaria estrutural, foi possível obter a quantidade e os tipos de blocos, tamanhos e resistências, a quantidade de aço e de graute necessários para a implantação deste sistema. O Quadro 15 lista a quantidade de materiais necessários para construir o edifício em alvenaria estrutural.

Quadro 15 – Quantidade de material para a obra em alvenaria estrutural

<b>Blocos – Resistência 8, 10, 15 MPa</b>			
Paredes	<b>Dimensões (cm)</b>	<b>Quantidade para cada resistência (m<sup>2</sup>)</b>	<b>m<sup>3</sup></b>
	Bloco estrutural 14x19x29 cm	2.007,9	-
	Bloco canaleta	2.250,0	-
Aço	<b>Bitola</b>	<b>Quantidade (kg)</b>	<b>-</b>
	Ø 5,0 mm	52,11	-
	Ø 8,0 mm	2.394,5	-
	Ø 10,0 mm	7.940,7	-
	Ø 12,5 mm	118,7	-
Graute	-	<b>Quantidade (m<sup>3</sup>)</b>	<b>-</b>
	-	39,4	-
Concreto	-	-	2,78

Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Como o SINAPI/RS somente apresenta blocos com resistência de 8 MPa, torna-se inviável fazer um comparativo. Sendo assim, realizou-se uma pesquisa de preços em empresas fabricantes de blocos estruturais, para, assim, obter um orçamento mais preciso. A Tabela 8 apresenta os preços obtidos por unidade.

Tabela 8 – Cotação de blocos estruturais no mercado

Bloco	8 MPa	10 MPa	15 MPa
14x19x29 cm	R\$ 2,75	R\$ 3,70	R\$ 4,05
Canaleta	R\$ 4,35		

Fonte: elaborada pelo autor (2022).

O Quadro 16 apresenta os custos e as quantidades dos materiais e mão de obra para a execução da superestrutura do edifício em alvenaria estrutural, sendo que eles foram orçados pelo SINAPI/RS, com base no mês de agosto de 2022, e unidos com a pesquisa de preços de blocos.

Quadro 16 – Orçamento para a construção em alvenaria estrutural

(continua)

Código SINAPI	Item	Descrição da composição	Unid.	Quant.	Custo	
					Preço Unitário	Preço Total
	<b>1</b>	<b>Superestrutura</b>				
	<b>1.1</b>	<b>Paredes</b>				
89312	1.1.1	Alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, 14x19x39 cm, fpk 8 MPa, espessura da parede 14 cm, juntas de 10 mm com argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>	2.007,86	R\$ 97,97	R\$ 196.710,70
89312	1.1.1	Alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, 14x19x39 cm, fpk 10 MPa, espessura da parede 14 cm, juntas de 10 mm com argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>	2.007,86	R\$ 111,04	R\$ 222.957,53
89312	1.1.1	Alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, 14x19x39 cm, fpk 15 MPa, espessura da parede 14 cm, juntas de 10 mm com argamassa de assentamento com preparo em betoneira	m <sup>2</sup>	2.007,86	R\$ 115,86	R\$ 232.627,42
93190	1.1.2	Verga/contra verga moldada <i>in loco</i> , com utilização do bloco canaleta para vãos de até 1,5 m	m	302	R\$ 45,48	R\$ 13.734,96
93191	1.1.3	Verga/contra verga moldada <i>in loco</i> , com utilização do bloco canaleta para vãos maiores que 1,5 m	m	328	R\$ 47,94	R\$ 15.724,32

(conclusão)

Código SINAPI	Item	Descrição da composição	Unid.	Quant.	Custo	
					Preço Unitário	Preço Total
93205	1.1.4	Cinta de amarração de alvenaria moldada <i>in loco</i> , com utilização de bloco canaleta 8 MPa	m	2.250	R\$ 47,20	R\$ 106.197,75
89993	1.1.5	Grauteamento vertical em alvenaria estrutural	m <sup>3</sup>	39,42	R\$ 906,55	R\$ 35.736,20
89998	1.1.6	Armação de cinta em alvenaria estrutural diâmetro 10 mm	kg	798,16	R\$ 11,71	R\$ 9.346,45
89996	1.1.7	Armação vertical de alvenaria estrutural diâmetro de 10 mm	kg	2.646,9	R\$ 12,13	R\$ 32.106,90
<b>Total</b>						<b>R\$ 865.142,23</b>
<b>1.3 Vigas</b>						
92759	1.1.1	Armadura de aço ca-60 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 5,0 mm, corte, dobra e montagem.	kg	52,11	R\$ 15,06	R\$ 784,78
92763	1.1.2	Armadura de aço ca-50 para estruturas de concreto armado, diâmetro até 12,5 mm, corte, dobra e montagem.	kg	118,7	R\$ 11,13	R\$ 1.321,13
92269	1.1.4	Fabricação de fôrma para pilares e estruturas similares, em madeira serrada, E=25 mm	m <sup>2</sup>	3,72	R\$ 140,83	R\$ 523,89
103672	1.1.5	Concretagem de pilares, $f_{ck}=25$ MPa, com uso de bomba - lançamento, adensamento e acabamento	m <sup>3</sup>	2,7776	R\$ 638,55	R\$ 1.773,64
					<b>Total</b>	<b>R\$ 4.403,43</b>
					<b>Subtotal</b>	<b>R\$ 869.545,66</b>

Fonte: elaborado pelo autor (2022).



## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para o estudo proposto, foram consultados os custos de materiais e mão de obra na tabela do SINAPI/RS (com base no mês de agosto de 2022), não considerando o BDI (benefícios e despesas indiretas). Na comparação a seguir, são avaliados os custos do levantamento de quantitativos das composições das estruturas e paredes dos edifícios. Com isso, obtiveram-se os valores globais das estruturas do sistema de concreto armado e de alvenaria estrutural, conforme demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparativo de custos entre os sistemas construtivos (em R\$)

Descrição do insumo	Concreto armado (R\$)	Alvenaria estrutural (R\$)
Aço	R\$ 405.348,60	R\$ 43.559,26
Formas	R\$ 63.381,95	R\$ 523,89
Concreto	R\$ 305.349,24	R\$ 1.773,64
Alvenaria	R\$ 293.085,50	R\$ 681.754,92
Graute	-	R\$ 141.933,95
Total geral	R\$ 1.067.165,29	R\$ 869.545,66
Custo por m <sup>2</sup>	R\$ 257,67	R\$ 209,95

Fonte: elaborada pelo autor (2022).

A Tabela 10 apresenta os custos dos sistemas estruturais de forma percentual, utilizando como base os custos demonstrados na Tabela 8.

Tabela 10 – Comparativo de custos entre os sistemas construtivos (em porcentagem)

Descrição do insumo	Concreto armado (%)	Alvenaria estrutural (%)
Aço	37,98%	5,01%
Formas	5,94%	0,06%
Concreto	28,61%	0,20%
Alvenaria	27,46%	78,40%
Graute	-	16,32%

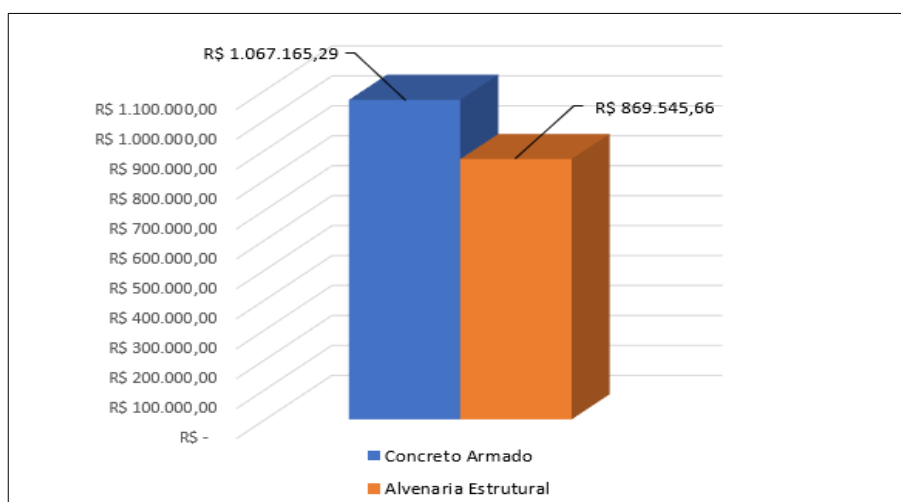
Fonte: elaborada pelo autor (2022).

No sistema estrutural em concreto armado, obteve-se um valor total de R\$ 1.067.165,29 (um milhão e sessenta sete mil e cento e sessenta e cinco reais e vinte nove centavos). Percebe-se que o aço e o concreto apresentam valores maiores que os demais. Já para o sistema em alvenaria estrutural, o valor total foi de R\$ 869.545,66 (oitocentos e sessenta e nove mil e quinhentos e quarenta e cinco reais e sessenta e seis centavos), onde o maior custo encontrado foi o da alvenaria, que representa 78,40% (setenta e oito inteiros e quarenta centésimos por cento) do total.

A diferença de custos dos sistemas, foi de R\$ 197.619,64 (cento e noventa e sete mil seiscentos e dezenove reais e sessenta e quatro centavos), representando uma vantagem para o sistema de alvenaria estrutural de 18,52% (dezoito inteiros e cinquenta e dois centésimos por cento), visto que os trabalhos semelhantes apresentaram porcentagens de 36,37% (trinta e seis inteiros e trinta e sete centésimos por cento), 28% (vinte e oito por cento) e 20,33% (vinte inteiros e trinta e três centésimos por cento).

Essa vantagem é consequente da substituição dos pilares e vigas por paredes estruturais, reduzindo, dessa forma, o consumo de aço, concreto e fôrmas. No Gráfico 4, é possível perceber a diferença do valor entre os dois sistemas construtivos, onde a cor laranja representa a alvenaria estrutural e a cor azul representa o concreto armado.

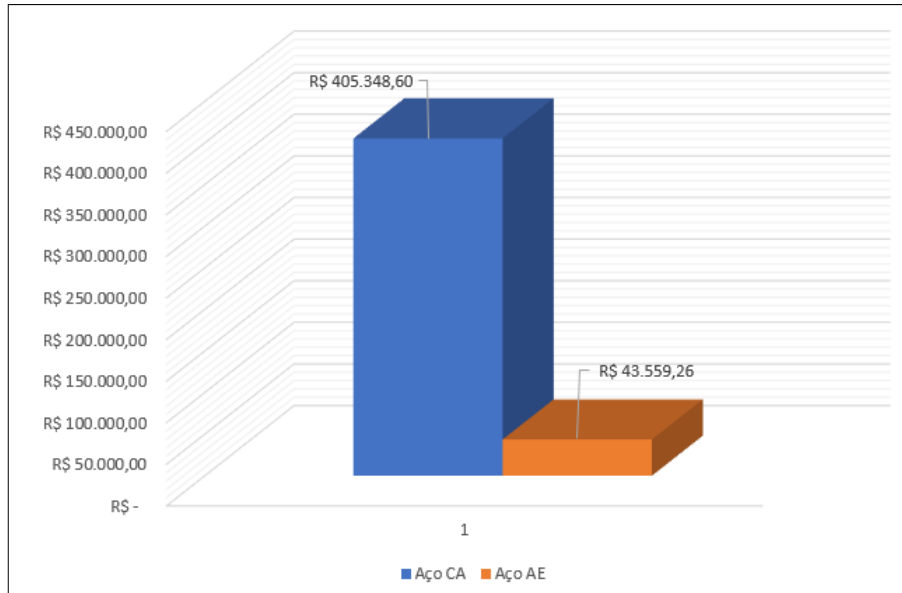
Gráfico 4 – Custo global da estrutura nos dois sistemas construtivos analisados



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

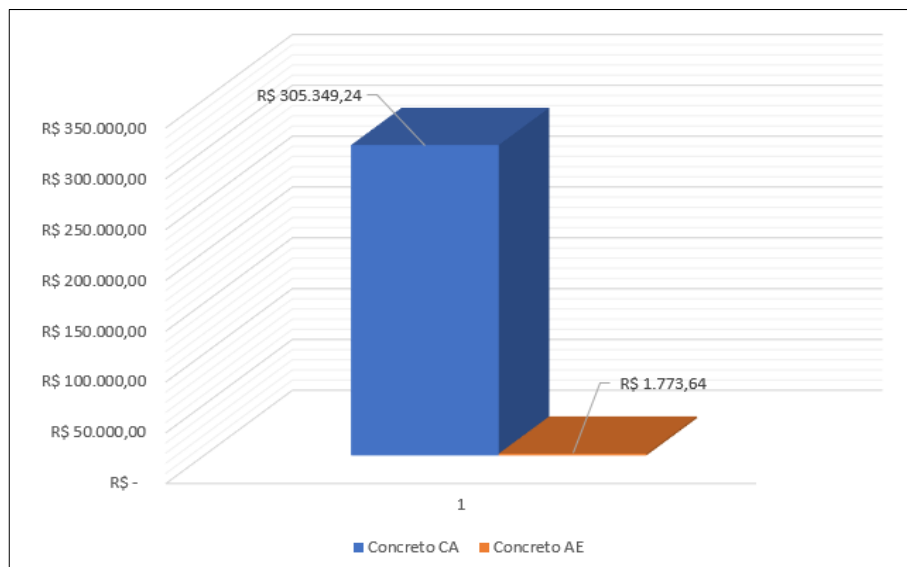
Os Gráficos 5, 6 e 7 apresentam os comparativos entre os materiais (concreto armado, aço e alvenaria) que compõem os dois sistemas construtivos, concreto armado (CA) e alvenaria estrutural (AE).

Gráfico 5 – Comparativo de aço entre os dois sistemas



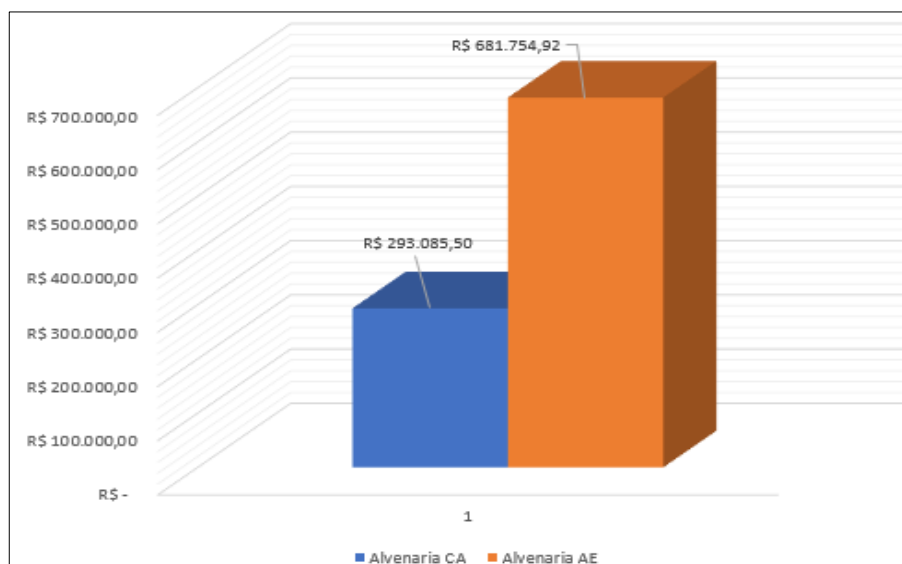
Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 6 – Comparativo de concreto entre os dois sistemas



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Gráfico 7 – Comparativo de alvenaria entre os dois sistemas



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Através dos Gráficos 5 a 7, percebe-se que apenas no Gráfico 7 a alvenaria estrutural apresenta custo superior, quando comparado com o concreto armado, confirmando, assim, que a alvenaria estrutural apresenta menor custo, quando comparada ao concreto armado.

No item 2.5 deste trabalho, foram apresentados trabalhos semelhantes, que também compararam os custos, demonstrando os seguintes resultados:

- a) Dellatorre (2014) obteve uma vantagem em alvenaria estrutural de 36,37% (trinta e seis inteiros e trinta e sete centésimos por cento), onde a alvenaria estrutural apresenta um valor de R\$ 436.624,43 (quatrocentos e trinta e seis mil e seiscentos e vinte e quatro reais e quarenta e três centavos) e o concreto armado de R\$ 686.214,59 (seiscentos e oitenta e seis mil e duzentos e quatorze reais e cinquenta e nove centavos);
- b) Olivier (2016) obteve uma vantagem em alvenaria estrutural de 28% (vinte e oito por cento), onde a alvenaria estrutural apresenta um valor de R\$ 298.281,81 (duzentos e noventa e oito mil e duzentos e oitenta e um reais e oitenta e um centavos) e o concreto armado de R\$ 415.174,67 (quatrocentos e quinze mil e cento e setenta e quatro reais e sessenta e sete centavos);
- c) Silva (2020) obteve uma vantagem em alvenaria estrutural de 20,33% (vinte inteiros e trinta e três centésimos por cento), onde a alvenaria estrutural apresenta um valor de R\$ 608.410,19 (seiscentos e oito mil e quatrocentos

e dez reais e dezenove centavos) e o concreto armado de R\$ 763.692,07 (setecentos e sessenta e três mil e seiscentos e noventa e dois reais e sete centavos).

Comparando estes resultados com o estudo apresentado neste trabalho, se confirma que a alvenaria estrutural é mais vantajosa em relação ao custo, obtendo-se uma economia de 18,52% (dezoito inteiros e cinquenta e dois centésimos por cento) a 36,37% (trinta e seis inteiros e trinta e sete centésimos por cento) quando comparada ao concreto armado. Porém, este sistema apresenta limitações, conforme citado anteriormente.

## 6 CONCLUSÃO

O trabalho teve como objetivo analisar dois sistemas construtivos, a alvenaria estrutural e o concreto armado, separadamente. A análise foi baseada, primeiramente, em uma pesquisa, abordando normas técnicas, livros, dissertações, entre outros. Durante o dimensionamento, foram considerados critérios conforme as normas e os materiais a serem utilizados. Todo embasamento teórico foi utilizado e teve grande importância para o dimensionamento do prédio em alvenaria estrutural e para a elaboração dos orçamentos, nos dois sistemas.

Inicialmente, o prédio foi adaptado para a execução em alvenaria estrutural. Após, realizou-se o dimensionamento da maior parede do pavimento tipo, para, assim, obter-se a resistência necessária do bloco estrutural e, posteriormente, foi elaborado um orçamento com as composições do SINAPI, para a alvenaria estrutural e para o concreto armado. Obteve-se, como resultado, uma diferença de R\$ 197.619,64 (cento e noventa e sete mil seiscientos e dezenove reais e sessenta e quatro centavos), o que caracterizou uma economia de 18,52% (dezoito inteiros e cinquenta e dois centésimos por cento) a favor da execução do edifício em alvenaria estrutural, considerando apenas a supraestrutura.

O estudo mostrou que a alvenaria estrutural apresenta menor custo no aço e no concreto, porém, apresenta maior custo na alvenaria; já o concreto armado, por sua vez, apresenta seu maior custo no concreto.

Finalizando, o estudo mostrou que, considerando apenas o fator econômico, o edifício mais adequado a ser escolhido seria o de alvenaria estrutural. Porém, apesar de a economia ter uma grande influência na escolha do sistema construtivo, não deve ser o único critério a ser avaliado, pois a oferta de mão de obra qualificada e a disponibilidade de materiais próximos ao local devem ser levados em conta, visto que esses critérios podem tornar o empreendimento mais caro e, dessa forma, alterar o resultado esperado. Tem-se ideia que até dezesseis pavimentos a alvenaria estrutural é vantajosa, mas será que este sistema construtivo não poderia bater essa barreira.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123**: forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8215**: prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural: Preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos: parte 1: blocos e tijolos cerâmicos para alvenaria: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos: parte 2: blocos e tijolos cerâmicos para alvenaria: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15812-1**: alvenaria estrutural: blocos cerâmicos: parte 1: projetos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-1**: alvenaria estrutural: parte 1: projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2020a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-2**: alvenaria estrutural: parte 2: execução e controle de obra. Rio de Janeiro: ABNT, 2020b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-3**: alvenaria estrutural: parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020c.

BELLEI, Poliana. **Análise comparativa de custos entre edifício de alvenaria estrutural e de concreto armado convencional em construção na cidade de Alegrete - RS**. 2013. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, RS, 2013. Disponível em:

<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/rii/1652/1/An%C3%A1lise%20comparativa%20de%20custos%20entre%20edif%C3%ADcio%20de%20alvenaria%20estrutural%20e%20de%20concreto%20armado%20convencional%20em%20constru%C3%A7%C3%A3o%20na%20cidade%20de%20Alegrete%20-%20RS.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2022.

BERTI, Luiz Henrique; RAFAEL, Vitor Eyng. **Comparativo de custos de material de uma obra de pequeno porte em alvenaria estrutural em relação a alvenaria**

**convencional**. 2019. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, SC, 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4315>. Acesso em: 04 maio 2022.

CAIXA. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)**. Brasília: Caixa, 2022. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 22 abr. 2022.

CAIXA. **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)**: manual de metodologias e conceitos: versão 002: vigência jun. 2014. Brasília: Caixa, jul. 2014. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/124/o/SINAPI\\_Manual\\_de\\_Metodologias\\_e\\_Conceitos\\_v002.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/124/o/SINAPI_Manual_de_Metodologias_e_Conceitos_v002.pdf). Acesso em: 22 abr. 2022.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Construção civil**: desempenho 2021 e cenário para 2022. Brasília: CBIC, dez. 2011. Disponível em: <https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2021/12/construcao-civil-desempenho-2021-e-cenarios-2022.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

DELLATORRE, Lázaro Augusto. **Análise comparativa de custo entre edifício de alvenaria estrutural e de concreto armado convencional**. 2014. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014. Disponível em: [http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2\\_2014/TCC\\_LAZARO%20AUGUSTO%20DELLATORRE.pdf](http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_LAZARO%20AUGUSTO%20DELLATORRE.pdf). Acesso em: 23 mar. 2022.

DINIZ, R. Caroline. **Análise comparativa entre custos de uma edificação construída em alvenaria estrutural e redimensionada em concreto armado**. 2017. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26662>. Acesso em: 04 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**: o que é. Brasília: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 22 abr. 2022.

MACHADO, Diego Willian Nascimento. **Alvenaria estrutural**: construindo conhecimento. 2015. 43 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7898/MACHADO,%20DIEGO%20WILLIAN%20NASCIMENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 23 mar. 2022.

MOHAMAD, Gihad. **Construções em alvenaria estrutural**: materiais, projeto e desempenho. 2. ed. ampl. rev. conforme a NBR 16868/2020. São Paulo: Blucher, 2020.



MOHAMAD, Gihad; MACHADO, Diego Willian Nascimento; JANTSCH, Ana Cláudia Akele. **Alvenaria estrutural**: construindo conhecimento. São Paulo: Blucher, 2017.

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

OLIVIER, G. Bianca. **Estudo comparativo de custos entre um edifício executado em alvenaria estrutural e em concreto armado**. 2016. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: [https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/171786/TCC\\_BIANCA\\_G\\_OLIVIER.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/171786/TCC_BIANCA_G_OLIVIER.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 28 abr. 2022.

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

PAULUZZI BLOCOS CERÂMICOS. **All in one 2018**: catálogo de alvenaria. Sapucaia do Sul, RS, 2018. Disponível em: <https://pauluzzi.com.br/all-in-one/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

RAMALHO, Marcio Antônio; CORRÊA, Márcio Roberto Silva. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

ROMAN, Humberto Ramos; MUTTI, Cristine do Nascimento; ARAÚJO, Hércules Nunes de. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

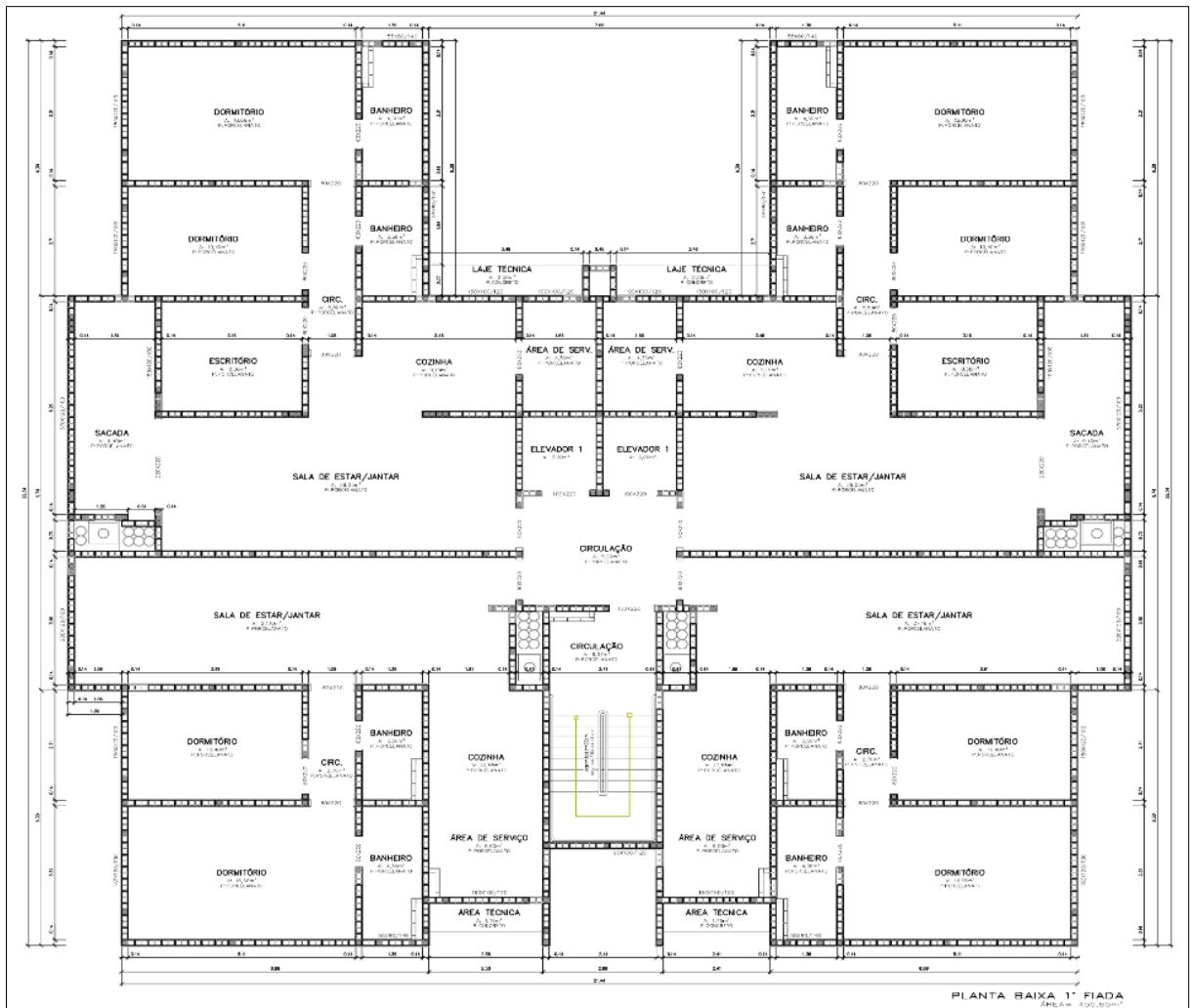
SABBATINI, H. Fernando. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. 334 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. Disponível em: [https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/publico/FernandoHenriqueSabbatini\\_T.pdf](https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30082017-091328/publico/FernandoHenriqueSabbatini_T.pdf). Acesso em: 22 abr. 2022.

SANTOS JUNIOR, Alvaci Alves dos; OLIVEIRA, Felipe Godoi. **Análise de ampliação em edificação construída em alvenaria estrutural**. 2019. 121 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, GO, 2019. Disponível em: [http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/9303/1/8\\_2019\\_2%20ALVACI%20ALVES-%20FELIPE%20GODOI.pdf](http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/9303/1/8_2019_2%20ALVACI%20ALVES-%20FELIPE%20GODOI.pdf). Acesso em: 22 jun. 2022.

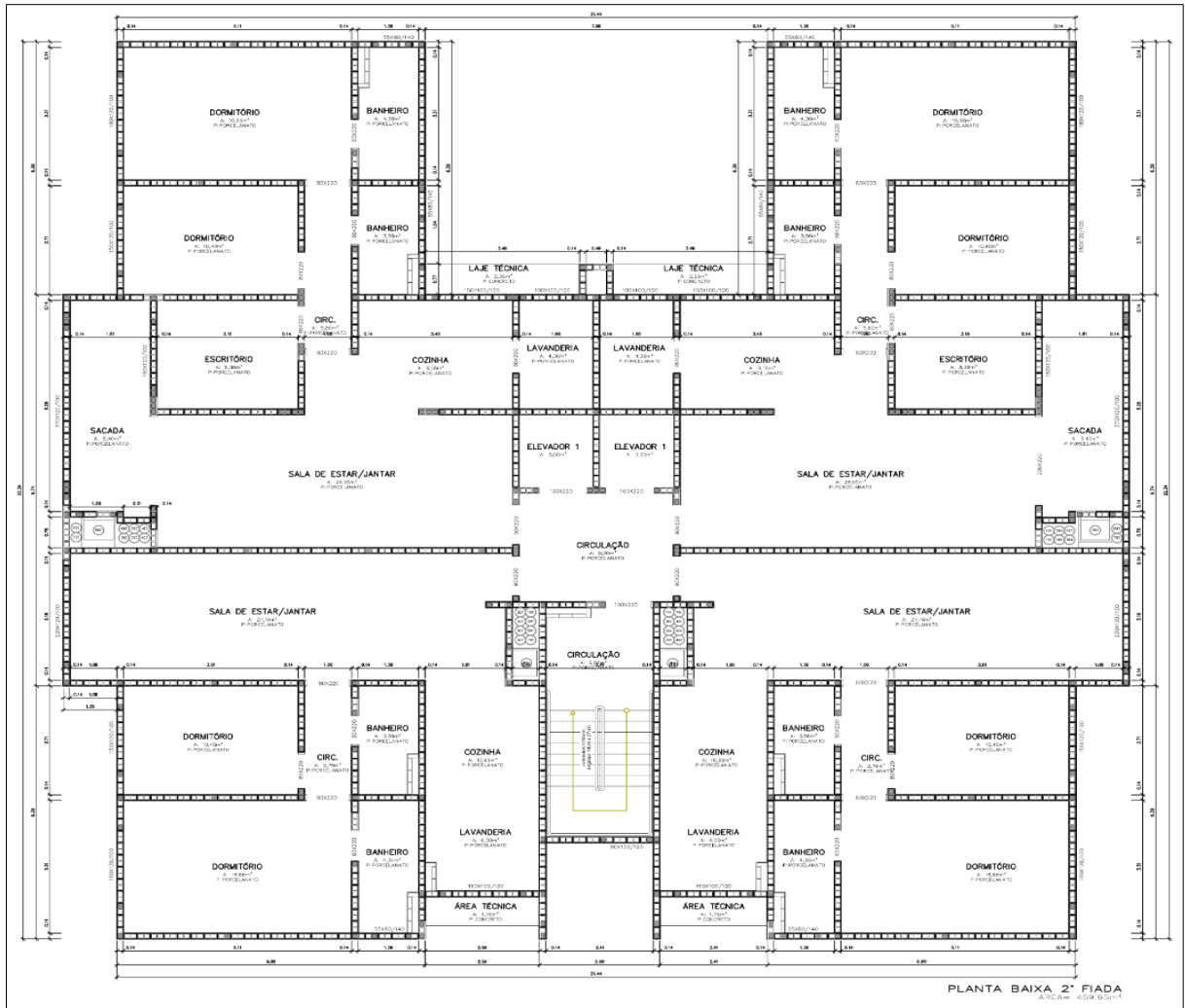
SILVA, Lillian Caroline da. **Estudo comparativo orçamentário de um edifício residencial analisando sistemas estruturais distintos**: concreto armado e alvenaria estrutural. 2020. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, MG, 2020. Disponível em: <http://192.100.247.84/handle/prefix/1457>. Acesso em: 24 maio 2022.

**APÊNDICES / ANEXOS**

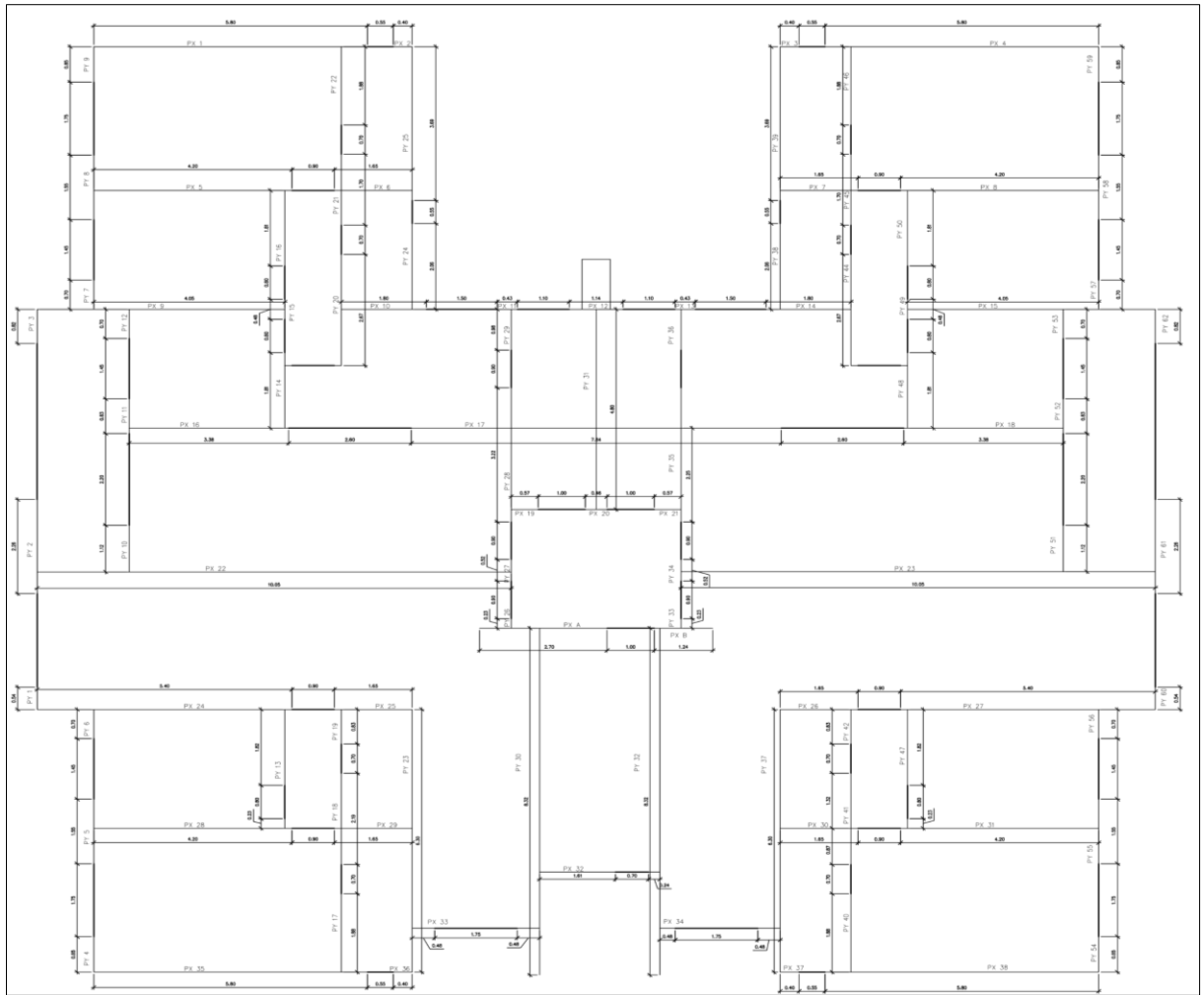
## APÊNDICE A – PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL 1º FIADA



## APÊNDICE B – PROJETO EM ALVENARIA ESTRUTURAL 2º FIADA



## APÊNDICE C – PROJETO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DAS CARGAS



**ANEXO A – PROJETO EM CONCRETO ARMADO**

