

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

HÉLIO DA SILVA GIRARDI JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE ALVENARIAS
DE VEDAÇÃO DE NÍVEL DE DESEMPENHO ANÁLOGO EM EDIFÍCIO DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**

**SÃO LEOPOLDO
2019**

HÉLIO DA SILVA GIRARDI JUNIOR

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE ALVENARIAS
DE VEDAÇÃO DE NÍVEL DE DESEMPENHO ANÁLOGO EM EDIFÍCIO DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**

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

Orientador: Prof. MS Diego Schneider

AGRADECIMENTOS

A Deus e aos bons espíritos, dirijo meu maior agradecimento e devoção, pois estiveram ao meu lado, protegendo-me e guiando-me, a cada passo, mostrando-me sempre o caminho do bem e da retidão.

Agradeço, com toda minha força, aos meus pais, Hélio e Cleci, que foram a principal e mais robusta fundação para esta edificação que eu chamo de vida.

Agradeço também, com muita honra, à Unisinos e ao seu corpo docente, pois estes fazem com que a Universidade tenha tão renomado nível acadêmico, sendo referência em ensino internacional, e que me fazem hoje entender a responsabilidade de ter a formação dentro desta instituição.

E, com certeza, não posso deixar de agradecer de forma especial, ao orientador deste trabalho, e que agora tenho como amigo, o professor e mestre Diego Schneider, que, mesmo com rotinas atarefadas, conseguiu compartilhar comigo este momento de final de curso, que acabou por se mostrar mais complexo do que eu tinha em mente.

Finalizo estes agradecimentos, saudando aos Mestres Jeferson Ost Patzlaff e Roberto Christ, que se mostraram grandes professores, profissionais e amigos ao longo de minha graduação e que me permitiram, ao término de meu bacharelado em Engenharia Civil, entender a importância que devemos dar a tudo o que fazemos e que devemos sempre fazer da melhor maneira possível aquilo que leva nosso nome a frente.

Meu muito obrigado a vocês!

RESUMO

O mercado atual da construção civil tem uma ampla oferta de insumos, o que obriga os profissionais envolvidos no ramo a confrontarem novas e velhas tecnologias construtivas, buscando melhores resultados para seus empreendimentos. Este trabalho procurou avaliar a influência de diferentes blocos de vedação (bloco cerâmico, de concreto e de concreto celular autoclavado) de nível de desempenho equivalente quanto ao impacto dos diferentes materiais de fabricação em relação ao desempenho dos sistemas de vedação verticais da edificação. Procurou avaliar também a relação entre a variação de peso das diferentes alvenarias com as cargas e com os volumes de insumos utilizados na estrutura de concreto armado e nas fundações, com vistas a possibilitar a quantificação desses insumos, assim como dos blocos de vedação, das argamassas necessárias e da mão de obra de execução das alvenarias, visando a verificar os parâmetros que impactaram no custo total da obra e qual a melhor rentabilidade do empreendimento. O estudo confrontou os resultados obtidos em quatro edificações constituídas pelos blocos analisados. Concluiu-se que, ao serem considerados os diversos pontos analisados, as edificações compostas de SVVIE com blocos fabricados com os materiais mais usados pela construção no país (blocos cerâmicos e de concreto) conseguem atender aos critérios estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) com menor valor de investimento. O estudo mostrou também que a composição de sistemas verticais compostos por blocos cerâmicos apresenta menor custo, tendo um valor final de R\$ 1.321.865,78. Todavia, é importante observar que, para uma edificação que atenda aos níveis de desempenho superiores na norma e uma maior eficiência energética dos ambientes, a combinação de SVI, composta por blocos cerâmicos, e SVE, constituída por blocos de concreto celular autoclavado, pode ser uma opção, visto apresentar custo acrescido de 9,66% sobre a composição de menor custo e de desempenho inferior, considerando que esse valor pode ser diluído nos custos de uso e operação da edificação.

Palavras-chave: Alvenarias de vedação. Desempenho. Projeto estrutural. Custo. Rentabilidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do processo de fabricação de componentes de cerâmica vermelha.....	21
Figura 2 - Esquema do processo de fabricação dos blocos de concreto celular autoclavado	24
Figura 3 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal	26
Figura 4 - Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical	27
Figura 5 - Bloco de concreto para alvenaria de vedação	29
Figura 6 - Blocos de concreto celular autoclavado	30
Figura 7 - Camadas de revestimento em argamassa.....	33
Figura 8 - Zonas bioclimáticas brasileiras	47
Figura 9 - Modelo tridimensional do sistema estrutural da edificação	54
Figura 10 - Seleção dos SVVIE quanto a energia de impacto de corpo mole e corpo duro.	63
Figura 11 - Seleção dos SVVIE quanto a segurança contra incêndio	65
Figura 12 - Seleção dos SVVIE quanto a estanqueidade	66
Figura 13 - Seleção dos SVVIE quanto a desempenho térmico.....	67
Figura 14 - Seleção dos SVVIE quanto a desempenho acústico	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Cargas nas fundações.....	83
Gráfico 2 - Consumo de aço.....	90
Gráfico 3 - Consumo de concreto.....	90
Gráfico 4 - Área total de formas	91
Gráfico 5 - Comparativo de custos dos sistemas de vedações internas	103
Gráfico 6 - Comparativo de custos dos sistemas de vedações externas	103
Gráfico 7 - Comparativo de custos dos sistemas de estruturais.....	104
Gráfico 8 - Comparativo de custos totais.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação (cm).....	26
Tabela 2 - Dimensões de fabricação de blocos de concreto (cm).....	27
Tabela 3 - Dimensões nominais dos blocos de CCA (cm)	30
Tabela 4 - Classificação de materiais pelo método da NBR 9442 (ABNT, 1986).....	43
Tabela 5 - Condições de ensaio de estanqueidade à água em vedações externas..	45
Tabela 6 - Transmitância térmica em vedações externas	46
Tabela 7 - Capacidade Térmica em vedações externas	47
Tabela 8 - Parâmetros de verificação acústica.....	48
Tabela 9 - Carregamentos acidentais	55
Tabela 10 - Classe de agressividade ambiental (CAA)	57
Tabela 11 - Relação entre classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto.....	58
Tabela 12 - Relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal ..	58
Tabela 13 - Influência do D_nT,w sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente interno em torno de 35 a 40 dB	68
Tabela 14 - Espessuras de revestimentos argamassados e níveis de desempenho obtidos perante requisitos normativos	71
Tabela 15 - Dimensionamento de camadas dos SVVIE	72
Tabela 16 - Levantamento de dados para alvenaria de blocos cerâmicos.....	73
Tabela 17- Espessuras de revestimentos argamassados e níveis de desempenho obtidos perante requisitos normativos	74
Tabela 18 - Dimensionamento de camadas dos SVVIE	75
Tabela 19 - Levantamento de dados para alvenaria de blocos de concreto	75

Tabela 20 - Espessuras de revestimentos argamassados e níveis de desempenho obtidos perante requisitos normativos	77
Tabela 21 - Dimensionamento de camadas dos sistemas de vedação externos	78
Tabela 22 - Dimensionamento de camadas dos sistemas de vedação internos	78
Tabela 23 - Levantamento de dados para alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado	78
Tabela 24 - Argamassas para revestimento das alvenarias	79
Tabela 25 - Deslocamentos horizontais dos sistemas avaliados	81
Tabela 26 - Cargas verticais dos sistemas avaliados impostas as fundações	82
Tabela 27 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVVIE composta por blocos cerâmicos	84
Tabela 28 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados	85
Tabela 29 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVVIE composta por blocos de concreto	86
Tabela 30 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados	86
Tabela 31 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVVIE composta por blocos de concreto celular autoclavado	87
Tabela 32 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados	87
Tabela 33 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVI composta por blocos cerâmico e SVE de concreto celular autoclavado	88
Tabela 34 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados	88
Tabela 35 - Comparativo entre consumos totais de insumos nos distintos sistemas estruturais avaliados	89
Tabela 36 - Relação de insumos e custos por metro quadrado	92
Tabela 37 - Custos unitários por m ² de alvenaria	92

Tabela 38 - Custos totais para as alvenarias da edificação	93
Tabela 39 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural	93
Tabela 40 - Custos totais para composição de SVVIE com bloco cerâmico	94
Tabela 41 - Relação de insumos e custos por metro quadrado	94
Tabela 42 - Custos unitários por m ² de alvenaria.....	95
Tabela 43 - Custos totais para as alvenarias da edificação	95
Tabela 44 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural	96
Tabela 45 - Custos totais para composição de SVVIE com bloco de concreto.....	96
Tabela 46 - Relação de insumos e custos por metro quadrado	97
Tabela 47 - Custos unitários por m ² de alvenaria.....	97
Tabela 48 - Custos totais para as alvenarias da edificação	98
Tabela 49 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural	98
Tabela 50 - Custos totais para composição de SVVIE com bloco de concreto celular autoclavado.....	99
Tabela 51 - Relação de insumos e custos por metro quadrado	99
Tabela 52 - Custos unitários por m ² de alvenaria.....	100
Tabela 53 - Custos totais para as alvenarias da edificação	100
Tabela 54 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural	101
Tabela 55 - Custos totais para composição de SVI com bloco cerâmico e SVE com bloco de concreto celular autoclavado	101
Tabela 56 - Comparativo entre as edificações propostas	102

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BCR	Bloco Cerâmico
BCO	Bloco de Concreto
BCCA	Bloco de Concreto Celular Autoclavado
MISTA	Bloco Cerâmico e Bloco de Concreto Celular Autoclavado
CA	Concreto Armado
CAA	Classe de agressividade ambiental
ELS	Estado-limite de serviço
ELU	Estado-limite último
EN	<i>European Standards</i>
F _{bk}	Resistência característica à compressão do bloco
F _{ck}	Resistência característica à compressão do concreto
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MPa	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
SVE	Sistemas de Vedações Externas
SVI	Sistemas de Vedações Internas
SVVIE	Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas
TCPO	Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 TEMA	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	16
1.3 PROBLEMA	17
1.4 OBJETIVOS	18
1.4.1 Objetivo geral.....	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.5 JUSTIFICATIVA	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 MATERIAIS CONSTRUTIVOS.....	20
2.1.1 Material cerâmico	20
2.1.2 Concreto de cimento Portland	22
2.1.3 Concreto leve celular autoclavado	22
2.2 ALVENARIAS DE VEDAÇÃO	24
2.2.1 Bloco cerâmico.....	25
2.2.2 Bloco de concreto	27
2.2.3 Bloco de concreto celular autoclavado.....	29
2.2.4 Argamassa	31
2.2.4.1 Argamassa de assentamento.....	31
2.2.4.2 Argamassa de revestimento	32
2.2.5 Alvenaria racionalizada.....	33
2.2.6 Eficiência energética de alvenarias	34
2.3 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	35
2.3.1 Concreto armado.....	36
2.3.2 Aços para concreto armado	37
2.3.3 Durabilidade das estruturas	37
2.4 DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES	38

2.4.1 Desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas	39
2.4.1.1 Desempenho estrutural – Solicitações de cargas de peças suspensas	40
2.4.1.2 Desempenho estrutural – Impacto de corpo mole	41
2.4.1.3 Desempenho estrutural – Impacto de corpo duro.....	41
2.4.1.4 Segurança contra incêndio.....	42
2.4.1.5 Estanqueidade.....	45
2.4.1.6 Desempenho térmico	46
2.4.1.7 Desempenho acústico	48
2.5 CUSTOS CONSTRUTIVOS	49
2.5.1 Orçamento	49
2.5.2 Custos	50
2.5.2 Decreto 7893/2013	51
3 METODOLOGIA	52
3.1 A EDIFICAÇÃO	52
3.2 PROJETO ESTRUTURAL.....	53
3.2.1 Ações atuantes na estrutura	55
3.2.2 Parâmetros para o dimensionamento estrutural	57
3.3 BLOCOS DE VEDAÇÃO	59
3.3.1 Blocos cerâmicos	59
3.3.2 Blocos de concreto	59
3.3.3 Blocos de concreto celular autoclavado	60
3.4 PARÂMETROS DE SELEÇÃO DOS BLOCOS.....	61
3.4.1 Desempenho estrutural	61
3.4.1.1 Solicitações de cargas de peças suspensas	62
3.4.1.2 Impacto de corpo mole	62
3.4.1.3 Impacto de corpo duro.....	63
3.4.2 Segurança contra incêndio	64
3.4.3 Estanqueidade	65
3.4.4 Desempenho térmico	66
3.4.5 Desempenho acústico	67

3.5 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL	69
3.6 ORÇAMENTO E CUSTOS	70
3.7 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA SISTEMAS DE VEDAÇÃO	71
3.7.1 Alvenarias de blocos cerâmico	71
3.7.2 Alvenarias de Blocos de concreto	73
3.7.3 Alvenarias de blocos de concreto celular autoclavado	76
3.7.3 Argamassa de revestimento para alvenarias	79
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	80
4.1 ALTERNATIVAS PARA SISTEMA ESTRUTURAL	80
4.1.1 Deslocamentos horizontais das edificações	80
4.1.2 Cargas verticais das edificações	81
4.1.3 Materiais necessários para os diferentes sistemas estruturais	84
4.1.3.1 Dimensionamento estrutural com alvenarias de blocos cerâmico	84
4.1.3.2 Dimensionamento estrutural com alvenarias de blocos de concreto	85
4.1.3.3 Dimensionamento estrutural com alvenarias de blocos de concreto celular autoclavado	87
4.1.3.4 Dimensionamento estrutural com alvenarias internas de blocos cerâmico e alvenarias externas de blocos de concreto celular autoclavado	88
4.1.3.5 Comparativo entre consumos totais de materiais necessários pelos distintos sistemas estruturais	89
4.2 LEVANTAMENTO DE CUSTOS	91
4.2.1 Edificação com SVVIE de blocos cerâmicos	92
4.2.2 Edificação com SVVIE de blocos de concreto	94
4.2.3 Edificação com SVVIE de blocos de concreto celular autoclavado	97
4.2.4 Edificação mista de SVI de blocos cerâmico e SVE de blocos de concreto celular autoclavado	99
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS TOTAIS	102
5 CONCLUSÃO	106
REFERÊNCIAS	110
APÊNDICE A – Fachadas	116

APÊNDICE B – Planta baixa tipo	118
APÊNDICE C– Preços referências adotados	119
ANEXO A – Níveis de desempenho segundo a ABNT NBR 15575-4 (2013).....	121
ANEXO B – Segurança contra incêndio	126
ANEXO C – Estanqueidade e ação do ventos.....	128

1 INTRODUÇÃO

O intenso desenvolvimento tecnológico difundido dentro da construção civil nas últimas décadas propiciou a implementação de uma grande variedade de técnicas e materiais, assim como tecnologias construtivas inovadoras (ALBINO et al., 2005).

Com o crescimento populacional e, portanto, com o aumento da demanda de necessidades tecnológicas no setor, torna-se essencial a incorporação de inovações provenientes do estímulo do mercado por aumento na produtividade, na qualidade e na diminuição dos custos (HOLANDA, 2003).

Ao abordar o vasto leque de insumos dessa área, existe uma grande variedade de modelos e tipos de blocos para serem utilizados em alvenarias de vedação nos mais diversos modos construtivos, os quais acompanharam a evolução tecnológica, e tiveram suas características aprimoradas.

Denomina-se alvenaria o elemento vertical coeso que tem como função separar ambientes, e as alvenarias externas também têm a incumbência de proteger a habitação do ambiente externo, atuando como barreira das intempéries e de uma série de ações provenientes deste meio (NASCIMENTO, 2004).

Os sistemas de vedação compostos por essas alvenarias têm posição de destaque no projeto de construção de um edifício, pois, além de serem a mais importante barreira de proteção dos agentes externos, atuam como um fator essencial para definir a estética nas edificações, participando de forma expressiva nos custos da obra (MEDEIROS, 2014).

Às alvenarias, são incorporados blocos, que são o principal e mais volumoso material. Por isso, na hora de projetar, é necessário levar em conta seu peso, pois, mesmo que não tenham função estrutural, a carga do sistema de vedação acaba por ser transmitida a estruturas e fundações, afetando diretamente no dimensionamento estrutural e, conseqüentemente, na quantificação de insumos e custos da construção (MEDEIROS, 2014).

Na busca de edificar um imóvel de qualidade, o profissional deve ter a clareza que devem ser selecionados materiais que correspondam ao nível de desempenho desejado para a construção. Ao se ponderar sobre a escolha dos blocos a serem utilizados nas alvenarias, deve selecionar materiais, considerando a qualidade, os

parâmetros de desempenho e a sua durabilidade, pois eles atuam de forma crucial na vida útil da edificação.

Em meio a um histórico de desempenho e vida útil irregular das construções brasileiras, o comitê da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que define a normatização da construção civil nacional, implantou em 2008, a norma brasileira NBR 15575, revisada e publicada em 2013. Essa norma estabelece o padrão de desempenho dos diversos sistemas das edificações, assim como as responsabilidades e obrigações de todos nelas envolvidos, desde a concepção e projeto, passando pela incorporação e construção e incluindo também os usuários.

Assim, este trabalho propõe-se avaliar a influência de blocos de vedação de diferentes materiais com nível de desempenho equivalente, mas que devem apresentar, pelo menos, desempenho mínimo em todos os requisitos preconizados pela Norma, embora, devido aos diferentes materiais que os compõem, acabem por ter desempenhos diferenciados em alguns dos aspectos abordados.

1.1 TEMA

O tema desta pesquisa é a determinação de alternativas técnicas para os sistemas de vedação de edificações de múltiplos pavimentos, dentro dos critérios de desempenho de habitações, determinados pela NBR 15575, abrangendo também para esta seleção, o impacto delas no projeto arquitetônico, estrutural e nos custos construtivos e de uso e operação.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A avaliação sistêmica de todas as variáveis envolvidas no tema escolhido não seria possível em um trabalho de conclusão de um curso de graduação. Sendo assim, o estudo é realizado com foco nos principais blocos utilizados pela construção nacional – o bloco cerâmico, o de concreto comum e o de concreto celular autoclavado, este último em menor escala.

As alvenarias de vedação são consideradas de forma que, para o dimensionamento da edificação, o levantamento de custos de insumos e produtividade, são levadas em conta as aberturas nas alvenarias. No entanto, na

avaliação dos sistemas de vedação, segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), as alvenarias de vedação são tomadas sem aberturas. Isso porque, ao avaliarem-se as alvenarias com aberturas, há um vasto leque de materiais e parâmetros devido aos diversos tipos de materiais que podem constituir o sistema que une e veda a união entre as alvenarias e suas aberturas.

As alvenarias de vedação e os diferentes blocos que as constituem, necessitam do uso de sistemas de ligação nas interfaces alvenarias-pilares e mecanismos de juntas de controle e movimentação, assim como o uso de vergas e contravergas junto às aberturas. Conforme a normatização, para as diferentes alvenarias de vedação, esses dispositivos são semelhantes e, na maioria dos casos, iguais. Sendo assim, tais aspectos não serão considerados neste trabalho.

Os sistemas estruturais são projetados de modo que o foco sejam os pavimentos-tipo, visto que são os pontos de maior impacto nos resultados para esta pesquisa. Portanto, como os reservatórios, as escadarias e os andares de estacionamento acabam por serem iguais para os diferentes dimensionamentos propostos, eles são desconsiderados no dimensionamento das estruturas de concreto armado.

1.3 PROBLEMA

A vasta oferta de blocos para alvenarias faz com que projetistas e construtores, inúmeras vezes, fiquem cheios de dúvidas sobre qual opção escolher. Além dos custos de produção, não só muitos são os critérios de desempenho determinados pela NBR 15575 (ABNT, 2013) que ainda são pouco compreendidos por uma parte dos profissionais do setor, como também há a variação de peso próprio dos materiais que afeta o dimensionamento estrutural e, conseqüentemente, o volume de aço e concreto, agregando-se ao impacto das diversas características inerentes aos materiais de composição dos diferentes tipos de blocos de vedação.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar alternativas técnicas para composições de sistemas de vedação verticais compostos por blocos que estejam em acordo com os critérios exigidos pela norma de desempenho de habitações, a NBR 15575-4 (ABNT, 20123b), avaliando o impacto deles na disposição de ambientes, no carregamento e dimensionamento estrutural e nos custos inerentes aos empreendimentos imobiliários.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- (a) determinar os blocos e camadas de revestimento argamassados dos sistemas de vedação, de modo que tenham desempenho satisfatório, de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b);
- (b) identificar possível composição de alvenarias entre diferentes sistemas de vedação para otimização de resultados;
- (c) analisar o impacto da disposição arquitetônica dos ambientes em relação aos requisitos de desempenho necessário para edificações;
- (d) realizar dimensionamento estrutural de edificação com as diferentes carregamentos da alvenarias de vedação selecionadas, para posterior comparação de volumes de aço, concreto e cargas nas fundações;
- (e) realizar comparativo de custos construtivos.

1.5 JUSTIFICATIVA

A evolução dos materiais construtivos vem para melhorar as condições das construções tanto para profissionais do setor quanto para usuários delas. Junto desse desenvolvimento, a normatização regulamenta diretrizes e critérios, beneficiando não somente construtores e incorporados durante a construção, mas

também usuários dos empreendimentos durante o uso e operação dos imóveis. Portanto, este estudo objetiva avaliar materiais construtivos e composições de sistemas de vedação verticais com concordância com níveis de desempenho determinados pela NBR 15575 (ANBT, 2013a).

Além dos parâmetros definidos pela normatização vigente, é de grande importância considerar o impacto da escolha do tipo de material a ser utilizado em alvenarias de vedação em edificações e sua relevância em relação a custos, tanto de insumos quanto de mão de obra, na execução dos sistemas de vedação e estrutura para o desempenho e a vida útil da habitação. Assim, esta pesquisa tem como propósito ponderar quais as possíveis escolhas, dentre as utilizadas em maior escala pela construção civil no Brasil, ao avaliar sistemas de vedação a serem utilizados, assim como o impacto desses elementos em outros pontos inerentes, em edificações de múltiplos pavimentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação desta pesquisa faz-se importante, pois traz conceitos necessários para uma melhor compreensão sobre os materiais utilizados na fabricação dos blocos de vedação, assim como seus parâmetros normativos e as composições de blocos e argamassas, que constituem as alvenarias de vedação determinadas para o levantamento de dados.

Este capítulo também aborda um compilado em que se torna possível um maior entendimento da norma de desempenho de edificações habitacionais, a NBR 15575-4 (ABNT 2013), assimilação essa de suma importância para compreensão deste trabalho.

Por fim, inclui-se ainda uma breve manifestação sobre eficiência energética, estruturas de concreto armado e custos inerentes a edificações.

2.1 MATERIAIS CONSTRUTIVOS

A conformação das edificações passa por diversas fases. A correta escolha dos materiais a serem empregado nelas é de fundamental importância para os mais diversos aspectos e funcionalidades a que os imóveis se destinam.

Segundo Isaia (2010), a escolha do material para cada caso específico não depende apenas do conhecimento técnico-científico do profissional, mas depende também da experiência empírica, pois nem sempre o enfoque técnico leva à melhor solução com base na situação em questão.

Isaia (2010) ainda define que essas decisões devem ser tomadas por intermédio de conceitos e métodos de cálculos baseados em modelos e conceitos estabelecidos ainda na fase de projeto, e os materiais devem ser escolhidos pelas suas propriedades analisadas e testadas em laboratórios ou obras.

2.1.1 Material cerâmico

A argila é o material-base para a produção de peças e artefatos cerâmicos. Essa argila é composta de sílica, silicato de alumínio hidratados e variadas

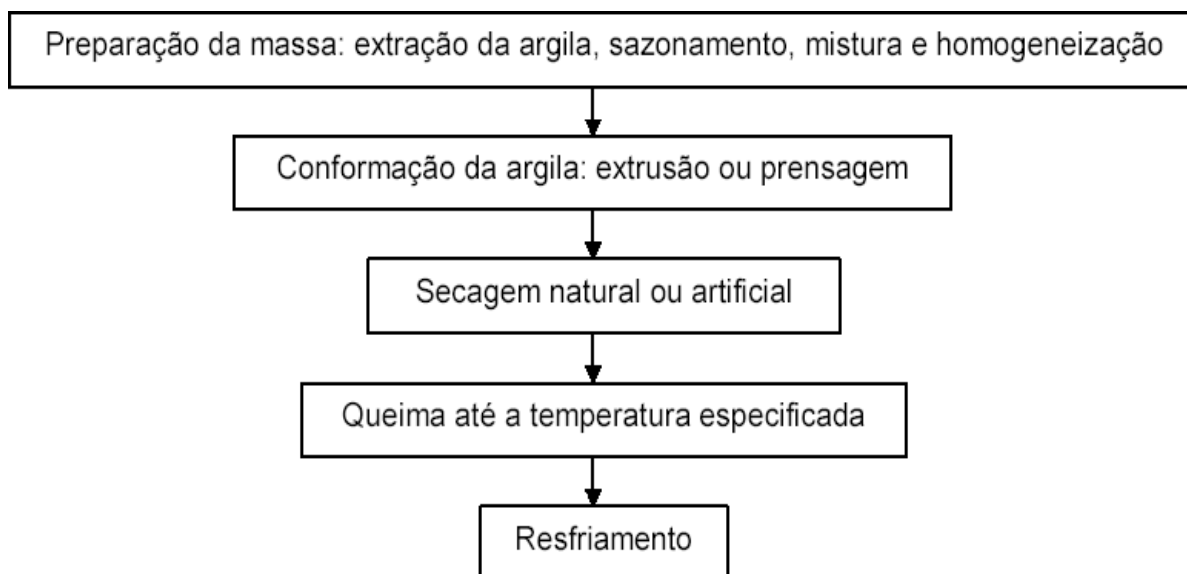
quantidades de óxidos ferrosos, visto que o material apropriado para a fabricação de materiais para construção civil deve ter plasticidade para uma correta mistura com a água, de modo que possa ser moldado, e ter resistência suficiente à tração para manter o formato após a moldagem (MOHAMAD *et al.*, 2010).

Segundo Kazmierczak (2010), as cerâmicas são fabricadas por um processo de secagem lenta, e, após, são cozidas em elevadas temperaturas. As cerâmicas são classificadas em brancas ou vermelhas. As vermelhas são utilizadas na fabricação de componentes de construção como tijolos maciços, blocos cerâmicos, telhas, tubos cerâmicos, tabelas dentre outros.

A alta dureza, a considerável resistência mecânica, a ruptura frágil, a alta estabilidade química e térmica (alto ponto de fusão) e a baixa condutividade elétrica e térmica são parâmetros característicos dos materiais cerâmicos. Tratando-se de comportamento mecânico, as cerâmicas apresentam resistências à compressão e ao cisalhamento muito maiores que resistência à tração (CASCUDO *et al.*, 2010).

Kazmierczak (2010) define o processo de fabricação de cerâmica vermelha nas etapas de preparação da massa, conformação da argila, secagem, queima e resfriamento da cerâmica.

Figura 1 - Diagrama do processo de fabricação de componentes de cerâmica vermelha



Fonte: IBRACON (2010).

2.1.2 Concreto de cimento Portland

O concreto de cimento Portland foi descoberto em meados dos anos 1800, na Inglaterra, mas teve real início produtivo em 1824, quando foi patenteado por Josh Aspdin. Seu uso, porém, tornou-se intensivo no século XX, tornando-se o material mais consumido pelo homem depois da água, revolucionando o desenvolvimento civilizatório da humanidade (HELENE, 2010).

Segundo Araújo (2014), concreto é o material resultante da mistura de agregados (naturais ou britados) com cimento e água que, em função de necessidades específicas, podem ter em sua composição aditivos químicos e adições minerais que otimizam o resultado das características tanto do concreto fresco quanto do concreto endurecido.

Araújo (2014) ainda define que parâmetros como consumo de cimento e de água na mistura, o grau de adensamento, os tipos de agregados e de aditivos são fatores que influenciam na resistência do concreto endurecido, pois, quanto maior o consumo de aglomerante em relação à água utilizada, menor a porosidade da pasta de cimento endurecida, fator que se relaciona diretamente com as propriedades mecânicas do concreto.

2.1.3 Concreto leve celular autoclavado

Johan Axel Eriksson, em 1914, na Suécia, na busca de um produto com propriedades semelhantes às das madeiras – estrutura sólida, bom isolamento térmico, e facilidade de trabalho e manuseio –, verificou que, ao adicionar alumínio em pó à mistura de cimento, cal e água, essa mistura expandia-se e acabava por apresentar características similares às das madeiras, sem a degradação provocada pelas matérias orgânicas. Alguns anos depois, iniciava-se na Escandinávia a produção desse material em escala industrial.

Segundo Ferraz (2011), ao adicionar o agente expensor (alumínio em pó) na tradicional mistura do concreto, o aditivo produzia bolhas de ar esféricas e não interligadas, que forneciam resistência térmica e acústica ao material. Mesmo com essa porosidade, o material ganhava resistência à compressão com a posterior cura

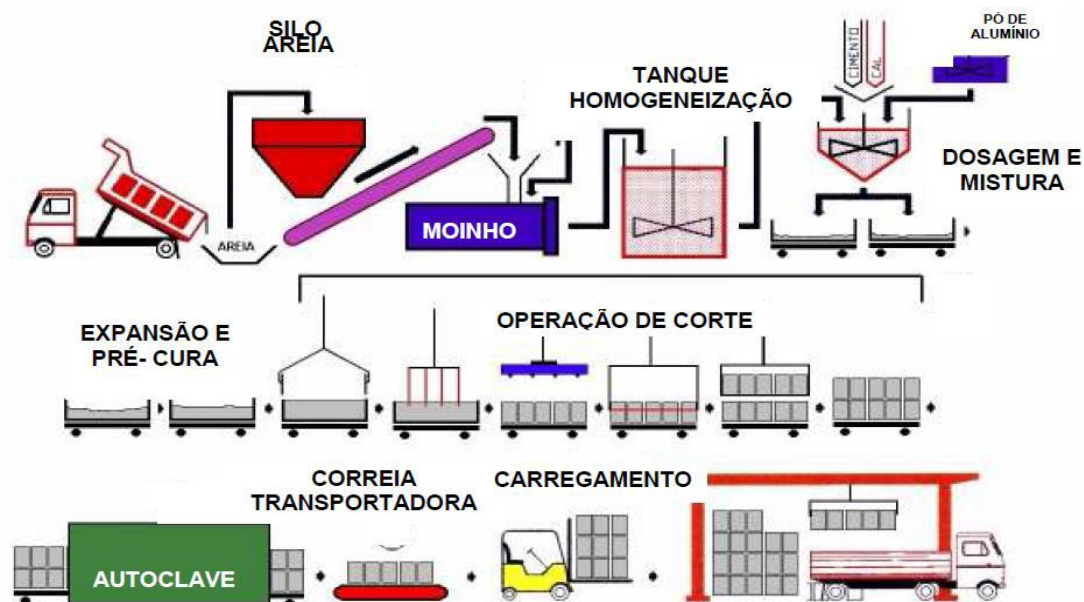
em autoclave com alta pressão e temperatura, gerando silicatos de cálcio no material.

Em relação à fabricação de blocos constituintes desse tipo de material, Désir (2012) afirma que eles podem ter produção totalmente automatizada, conforme as etapas a seguir:

- (a) preparação da pasta com a mistura de areia (44%), cimento (3%), cal (12%), água (41%) e aditivos (menos de 1%);
- (b) descanso da mistura em grandes tanques, por um período de duas horas, a uma temperatura de 20°C, para criar uma estrutura de microporosidades;
- (c) moldagem e corte da pasta sólida e estável em pedaços com grande precisão;
- (d) ida dos blocos para um reservatório, permanecendo em alta pressão (12 atmosferas) e temperatura (200°C), por um período de 12 horas. Esse processo confere aos blocos suas características finais de resistência e de estabilidade dimensional. Após essa etapa, os blocos tornam-se uma pedra artificial muito leve e de fácil manuseio;
- (e) controle de qualidade na saída da autoclave para garantir a conformidade;
- (f) embalagem, estocagem e paletização.

Essas etapas estão demonstradas na Figura 2, a seguir.

Figura 2 - Esquema do processo de fabricação dos blocos de concreto celular autoclavado



Fonte: PRECON (2017).

Ripper (1995) assevera que esse processo de alta pressão e temperatura fornece estabilidade química ao material, fazendo com que esse compósito não seja degradado nem seja alterado ao longo dos anos. O concreto celular autoclavado não entra em combustão em contato com fogo, e tem uma condução térmica muito baixa.

2.2 ALVENARIAS DE VEDAÇÃO

Pode-se definir, segundo Tauil (2010), que alvenaria é um conjunto de peças justapostas coladas em sua interface, por uma argamassa apropriada, formando um elemento vertical coeso, que serve para vedar espaços, resistir a cargas, isolar e proteger das intempéries e da ação do fogo, e contribuir para o conforto acústico e térmico dos usuários.

Nascimento (2004) confirma tal definição, dizendo que alvenaria de vedação é o uso de elementos de reduzidas dimensões de materiais diversos (cerâmica, concreto etc.) unidos entre si de modo estável pela combinação de juntas de

interposição de argamassa, com o objetivo de fechar um ambiente, assegurando segurança, conforto e habitabilidade à edificação, dentro de um sistema estruturado.

A alvenaria tem como principal objetivo segregar ambientes. As alvenarias periféricas das edificações, principalmente, têm a obrigatoriedade de separar o ambiente externo do interno, parando e controlando uma grande gama de ações e movimentos quase sempre heterogêneos (NASCIMENTO, 2004).

No Brasil, existe uma grande diversidade de materiais disponíveis para o uso nas alvenarias de vedação, e definem-se diversos tipos de alvenarias em relação ao tipo de bloco utilizado na sua execução.

Os principais tipos de blocos utilizados são:

- Bloco cerâmico (maciço ou vazado);
- Bloco de concreto;
- Bloco de gesso;
- Bloco de concreto celular autoclavado;
- Tijolo de solo-cimento.

A seguir, são definidos o bloco cerâmico, o bloco de concreto e o bloco de concreto celular autoclavado, que são comparados ao longo desta pesquisa.

2.2.1 Bloco cerâmico

O tipo selecionado de bloco cerâmico para este estudo foi o vazado. Ele é constituído basicamente de argila, moldado por extrusão e queimado em altas temperatura (em torno de 800°C), permitindo que o produto final atenda às normas técnicas vigentes e às condições por elas determinadas. Possui variação de volume considerada baixa ao entrar em contato com a umidade, baixa densidade e facilidade de manuseio, destacando-se pelo seu custo competitivo (NASCIMENTO, 2004).

Esse tipo de bloco tem suas especificações determinadas pela NBR 15270 (ABNT, 2005) que o define como componente cerâmico que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm, e que deve ser fabricado conforme dimensões definidas pela norma. Essas dimensões podem ser observadas na Tabela 1, a seguir.

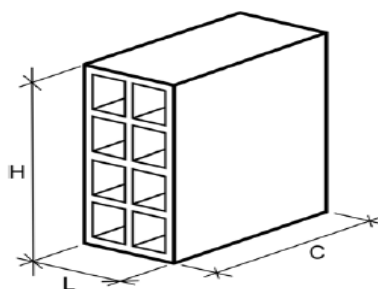
Tabela 1 - Dimensões de fabricação de blocos cerâmicos de vedação (cm)

L x H x C (Bloco principal)	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
			Principal	Meio-Bloco
9 x 9 x 19	9	9	19	9
9 x 9 x 24	9	9	24	11,5
9 x 19 x 19	9	19	19	9
9 x 19 x 24	9	19	24	11,5
9 x 19 x 29	9	19	29	14
9 x 19 x 39	9	19	39	19
11,5 x 11,5 x 24	11,5	11,5	24	11,5
11,5 x 19 x 19	11,5	19	19	9
11,5 x 19 x 24	11,5	19	24	11,5
11,5 x 19 x 29	11,5	19	29	14
11,5 x 19 x 39	11,5	19	39	19
14 x 19 x 19	14	19	19	9
14 x 19 x 24	14	19	24	11,5
14 x 19 x 29	14	19	29	14
14 x 19 x 39	14	19	39	19

Fonte: Adaptado de NBR 15270 (ABNT, 2005).

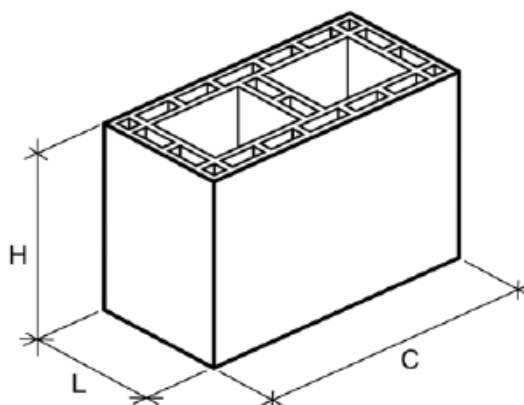
Ambrozewics (2015) diz que esses são os blocos mais usados e de técnicas executivas mais disseminadas no mercado nacional. São produzidos para assentamento com furos na horizontal (Figura 3) e com furos na vertical (Figura 4). O bloco cerâmico vazado tem uma densidade média de 1300 kg/m³, e seu assentamento necessita de mão de obra convencional (PINI, 2008).

Figura 3 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal



Fonte: Adaptado de NBR 15270 (ABNT, 2005).

Figura 4 - Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical



Fonte: Adaptado de NBR 15270 (ABNT, 2005).

2.2.2 Bloco de concreto

O bloco de concreto é constituído basicamente de areia, agregado, cimento, água e aditivos cuja função é aumentar a coesão da mistura. Sua produção é feita por prensagem e vibração, visando à expulsão do ar do material fresco, e proporcionando melhor acabamento ao material endurecido, dentro de formas de aço com dimensões regulares. Sua cura é feita em câmara úmida por pelo menos sete dias, o que propicia um bloco final melhor e com menos propensão a falhas. Quando curados em ambiente normal, têm um tempo de cura de 28 dias, conforme previsto pela norma regulamentadora do processo de produção (MOHAMAD et al., 2010).

Fabricado em diferentes tamanhos e funções, esses blocos seguem as modulações de 7,5 cm, 10 cm, 15 cm e 20 cm, conforme modulação definida em projeto e que podem ser verificados na Tabela 2.

Tabela 2 - Dimensões de fabricação de blocos de concreto (cm)

(Continua)

Designação (Nominal)	L x H x C (Bloco principal)	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
				Inteiro	Meio-Bloco
20	19 x 19 x 39	19	19	39	19
15	14 x 19 x 39	14	19	39	19

(Conclusão)

Designação (Nominal)	L x H x C (Bloco principal)	Largura (L)	Altura (H)	Comprimento (C)	
				Inteiro	Meio-Bloco
15	14 x 19 x 29	14	19	29	14
12,5	11,5 x 19 x 39	11,5	19	39	19
12,5	11,5 x 19 x 24	11,5	19	24	11,5
12,5	11,5 x 19 x 36,5	11,5	19	36,5	-
10	9 x 19 x 39	9	19	39	19
10	9 x 19 x 19	9	19	19	9
10	9 x 19 x 29	9	19	29	-
7,5	6,5 x 19 x 39	6,5	19	39	19

Fonte: Adaptado de NBR 6136 (ABNT, 2007).

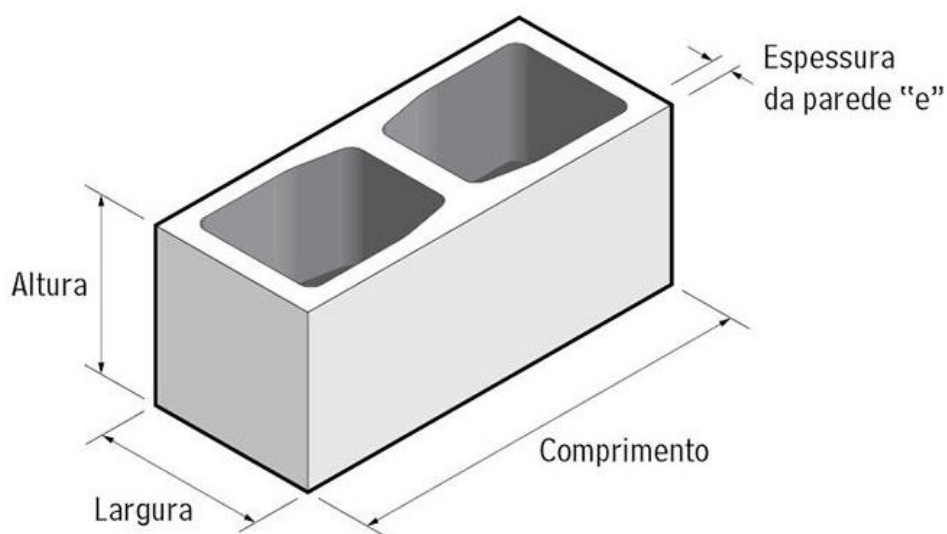
As especificações desse tipo de componente estão determinadas pela NBR 6136 (ABNT, 2007), que estabelece como bloco vazado de concreto simples para alvenaria de vedação (sem função estrutural) o componente de alvenaria de concreto cuja área líquida for igual ou inferior a 75% da área bruta. Essa norma classifica os blocos de concreto em dois tipos: os blocos “classe C” são aqueles com ou sem função estrutural; já os blocos “classe D” são somente para uso sem função estrutural. A norma estabelece ainda que esse tipo de componente construtivo deve ter resistência característica à compressão (F_{ck}) igual ou maior a 3,0 MPA e 2,0 MPA, respectivamente.

Nascimento (2004) ressalta que deve-se evitar o uso deste tipo de bloco, quando ele apresentar-se ainda com umidade elevada, devido ao alto índice de retração e variação dimensional.

O bloco de concreto vazado tem uma densidade média de 1800 kg/m³, e seu assentamento necessita de mão de obra treinada (PINI, 2008).

Um exemplo desse tipo de bloco pode ser observado na Figura 5, que segue.

Figura 5 - Bloco de concreto para alvenaria de vedação



Fonte: Adaptado de NBR 6136 (ABNT, 2007).

A referida Norma NBR 6136 (ABNT, 2007) também define para as cinco famílias de blocos, blocos compensadores de 4 cm e 9 cm de comprimento.

2.2.3 Bloco de concreto celular autoclavado

Por ser um produto totalmente industrializado, o bloco de concreto celular autoclavado apresenta precisão dimensional, e é facilmente serrado, evitando o desperdício do material (NASCIMENTO, 2004).

Esse componente é descrito pela NBR 13438 (ABNT, 2013), que define que bloco de concreto celular autoclavado sem função estrutural é um componente maciço de edificações utilizado em paredes externas e internas como elemento de vedação.

A Figura 6, que segue, exemplifica esse componente.

Figura 6 - Blocos de concreto celular autoclavado



Fonte: Adaptado de Ficha técnica bloco PRECON (2018).

A norma NBR 13438 (ABNT, 2013) não fornece uma tabela com dimensões padrão de fabricação para esse tipo de bloco, porém estipula que eles devem ter formato de um paralelepípedo retangular e ter dimensões nominais conforme a Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 - Dimensões nominais dos blocos de CCA (cm)

Largura	Altura	Comprimento
≥ 7,5	≥ 20	≥ 20

Fonte: Adaptado de NBR 13438 (ABNT, 2013).

A NBR 13438 (ABNT, 2013) também define blocos de concreto celular autoclavado do tipo especial como blocos fabricados em formatos, dimensões e especificações estabelecidos em comum acordo entre fornecedor e comprador.

O bloco de concreto celular autoclavado tem uma densidade média de 500 kg/m³, e seu assentamento necessita de mão de obra especializada (PINI, 2008).

Como esse tipo de bloco tem um peso específico baixo, ele apresenta dimensões maiores que os blocos cerâmicos e de concreto convencional, sendo

possível reduzir o tempo de execução das alvenarias, além de proporcionar uma redução de carga das estruturas e fundações da edificação (FERRAZ, 2011).

2.2.4 Argamassa

As alvenarias constituem um conjunto coeso, rígido e estável composto por elementos unidos entre si por interposição de argamassa de assentamento. Esses sistemas de vedação devem também ser revestidos, oferecendo maior resistência, impermeabilidade e isolamento, e possibilitando o desempenho e a durabilidade necessária para elemento vertical (AMBROZEWICS, 2015).

Argamassas são materiais compostos de um ou mais aglomerantes, agregados miúdos e água, com possibilidade de inclusão de aditivos e adições minerais, caso estes melhorem sua trabalhabilidade e durabilidade (CARASEK, 2010).

A NBR 13281 (ABNT, 2005), que estabelece requisitos para argamassas de assentamento e revestimentos de paredes e tetos, define esse compósito como:

Mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria.

Carasek (2010) observa que as argamassas podem ser classificadas em relação à sua função. Segundo o autor, dentre a grande variedade de usos, podem-se considerar como funções principais as argamassas para construção de alvenarias, utilizadas para assentamento e elevação de alvenarias, e as argamassas para revestimentos, utilizadas em paredes e tetos.

2.2.4.1 Argamassa de assentamento

Utilizada para união de blocos na elevação de alvenarias, a argamassa de assentamento deve favorecer a resistência das paredes, distribuindo uniformemente

as cargas nos blocos, sem romper perante variações dimensionais e térmicas, vedando o sistema vertical contra água e agentes nocivos (DÉSIR, 2012).

Aprofundando as funções do material citado, Carasek (2010) menciona que as argamassas de ligação de elementos de paredes, além de distribuir de maneira igual as cargas sobre os blocos, devem selar as juntas, proporcionando estanqueidade, e absorver as deformações naturais, estas devem unir as unidades de alvenaria monoliticamente, contribuindo na resistência aos esforços laterais.

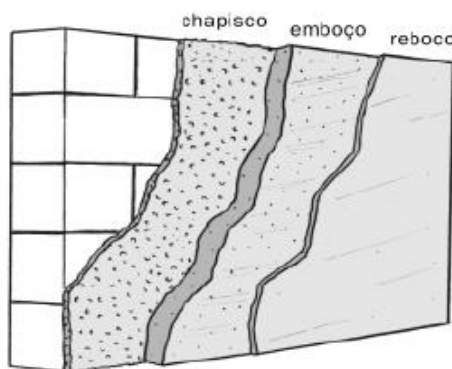
Um traço indicado para argamassa de assentamento de blocos em SVVIE pode ser 1:2:8-9, sendo respectivamente cimento, cal hidratada e areia, gerando um consumo em torno de 25 kg/m² (PARSEKIAN, 2010).

2.2.4.2 Argamassa de revestimento

Quando tem função de revestimento, essa argamassa deve proteger os diferentes substratos (alvenaria ou estrutura) da ação dos agentes agressivos, contribuindo com os requisitos necessários, atendendo às exigências dos usuários e dos níveis de desempenho necessários para os SVVIE (CARASEK, 2010).

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002) completa essa colocação em seu manual de argamassas, referindo que, além de proteger as superfícies e aumentar os diversos níveis de desempenho, a argamassa de revestimento deve permitir uma base regular para posterior aplicação de outro revestimento (texturas, pinturas ou revestimentos cerâmicos). O Manual (ABCP, 2002) também orienta que revestimentos argamassados de cimento devem ter camadas de execução sobrepostas, conforme a Figura 7. Primeiramente junto ao substrato deve ter aplicação de chapisco, que uniformiza e regulariza a base, e, depois, aplicação de emboço e reboco ou apenas uma massa única cumprindo as funções dos dois citados anteriormente.

Figura 7 - Camadas de revestimento em argamassa



Fonte: Manual de revestimentos de argamassa (ABCP, 2002).

Diferentes são os parâmetros para as argamassas de revestimento, no momento em que se considera a face dos SVVIE quando em relação à face de aplicação. Logo, a NBR 13749 (ABNT, 2013) especifica que, para revestimentos internos, a espessura da argamassa deve ser entre 5 e 20 mm e com resistência $\geq 0,20$ Mpa; para revestimentos externos a espessura deve ser entre 20 e 30 mm e com resistência $\geq 0,30$ MPa. Quando se faz necessária a execução de espessuras superiores, ela deve ser executada corretamente, de forma a garantir uma aderência do revestimento, o que pode ser verificado na NBR 7200 (ABNT, 1998).

2.2.5 Alvenaria racionalizada

Em meio a um momento em que tanto materiais quanto normas e técnicas de construção passam por uma reestruturação devido a um momento impactante de baixa de trabalhos na construção civil, somada a uma crescente preocupação com o meio ambiente e o choque que a geração de resíduos tem sobre ele, é fundamental que todo o profissional, ao interagir com o mercado, principalmente quando a pauta são alvenarias, preocupe-se com a racionalização dos processos para que, além de otimizar a produtividade, possa reduzir o desperdício e, por conseguinte, a geração desses resíduos.

Para uma compreensão mais clara do tema, de acordo com Nascimento (2004), o processo de racionalização é a potencialização dos recursos atuantes na

construção, visando sempre a reduzir desperdícios, a otimizar soluções e a primar pela qualidade em todas as fases da construção, do projeto à execução.

Segundo Lordsleen (2001), o ato de racionalizar tem uma grande influência nos resultados quanto à produção de alvenarias. Essa ação inicia-se no projeto que deve primar pela otimização da produção, com a padronização e controle das atividades de execução, tendo com clareza que, para processos racionalizados terem sucesso, a mão de obra deve ser treinada e motivada, para que todas as etapas construtivas afetem positivamente a produção.

Pode-se acrescentar, citando Medeiros (2014), que, para que haja a racionalização na produção de alvenarias, faz-se necessário um bom detalhamento nos projetos executivos, o que, além de reduzir desperdícios, pode diminuir o cronograma de entrega, impactando positivamente no custo fixo das obras. Ambrozewicz (2015) também salienta que as alvenarias de blocos cerâmicos e de concreto são as mais utilizadas pela construção civil, e ressalta que a racionalização e a modulação desses sistemas construtivos têm influência direta nos custos das obras, pois otimiza a mão de obra, os materiais e outros fatores relevantes.

2.2.6 Eficiência energética de alvenarias

O elevado consumo de energia das edificações em sua fase de uso e operação, agravado pelo crescimento populacional, tem preocupado os governos dos países, fazendo com que haja cada vez mais uma preocupação quanto à eficiência de energia em todos os setores (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Por isso, é necessário o uso de alternativas que tenham um impacto na minimização destes efeitos.

Segundo Lambert, Dutra e Pereira (2014), o consumo brasileiro de energia em edificações representa 46,7% do consumo. Esse percentual é partilhado em 23,3% para residências, 15,04% para o comércio e 8% na área pública. Esses autores complementam dizendo que avaliando cada tipo de edificação, dentro de cada consumo específico, a climatização de ambientes chega a 20% em uso residencial, e 47% para uso comercial.

Sendo as alvenarias de vedação um dos principais sistemas de isolamento térmico e contra as intempéries (TAUIL, 2010), elas têm importância fundamental

quanto à eficiência térmica, pois uma maior capacidade resistente à condução térmica tende a otimizar custos excessivos com climatização, apresentando, assim, um consumo reduzido de energia elétrica, e, portanto, uma melhor eficiência energética.

O bom desempenho térmico promovido pelo uso de concretos celulares em sistemas de vedação, com a consequente redução de consumo energético quanto à climatização de ambientes, é salientado por Holm e Ries (2007). Ripper (2005) ainda afirma que blocos de vedação de concreto celular apresentam melhor desempenho térmico, se comparados aos blocos cerâmicos ou de concreto.

Franco (1998) explica a que as vedações têm responsabilidade crucial quanto ao desempenho da edificação, principalmente quanto às características térmicas, às acústicas e às de segurança contra incêndio. Assim, tendo visto a importância dos elementos de vedação em imóveis, é de grande valia a pesquisa e a aplicação de materiais que agreguem características requeridas pelo sistema.

2.3 ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

As estruturas de concreto armado revolucionaram a construção em todos seus aspectos, pois tal composição de materiais possibilita uma conformação de tal maneira que demonstrou ser possível, seguro e durável a ponto de substituir as paredes portantes, estruturas de madeira e estruturas de aço, que eram os sistemas estruturais encontrados na época em que foi descoberto (HELENE, 2010).

As estruturas de concreto armado são formadas principalmente de duas partes: a infraestrutura, composta das fundações das edificações, que têm como função a transferência de carga da estrutura para a camada resistente do solo e que, em sua maioria, permanece abaixo do nível de base do solo; e a superestrutura, constituída por elementos estruturais (lajes, vigas e pilares) que suportam e distribuem as cargas atuantes na edificação, fica acima da linha de base e compõe a maior parte da estrutura (AMBROZEWICZ, 2015).

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), o concreto para uso estrutural define-se em dois tipos de elementos. O primeiro é determinado como elemento de concreto simples estrutural, que é quando o elemento estrutural não possui qualquer tipo de armadura ou que elas sejam utilizadas sem função de armadura estrutural. O

segundo é definido como elemento de concreto armado, que são elementos cujo comportamento estrutural depende da aderência do concreto com a armadura.

2.3.1 Concreto armado

O concreto é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, mas, em contraponto, tem baixa resistência à tração (em torno de 10% de sua resistência à compressão). Assim sendo, o concreto armado é um material composto da associação entre o concreto e barras de aço especificamente alocadas em sua composição, pois o aço apresenta alta resistência às tensões de tração, além de aumentar a capacidade de carga das peças comprimidas (AMBROZEWICZ, 2015).

A norma que especifica projetos de estruturas de concreto, a NBR 6118 (ABNT, 2014), define que elementos de concreto armado são "aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura", ou seja, para que esse material tenha um uso satisfatório e de acordo com a norma vigente, o concreto e o aço têm de solidarizar-se entre si, trabalhando de forma conjunta.

Segundo Araújo (2014), este trabalho conjunto desses materiais é possível, porque ambos têm coeficiente de dilatação praticamente iguais. O autor salienta que o concreto protege as armaduras contra a corrosão, mas para garantir a durabilidade do elemento estrutural, deve-se atentar tanto ao cobrimento mínimo das armaduras, estabelecido em norma pela classe de agressividade do meio, quanto para a qualidade concreto utilizado na concretagem dos elementos.

O concreto armado apresenta inúmeras vantagens como economia, facilidade de execução e de conformação, resistência ao fogo e aos agentes atmosféricos e ao desgaste mecânico, sendo necessária pouca manutenção, quando bem executado. Dentre as desvantagens tem-se o elevado peso das construções e a dificuldade para reformas e demolições (ARAÚJO, 2014).

2.3.2 Aços para concreto armado

O mercado dispõe de diversos tipos de aço para uso estrutural. Os mais utilizados são os aços CA-50 (A ou B), CA-60 (A ou B) e CA-25. A nomenclatura CA significa concreto armado e as letras A e B definem os tipos de aço (AMBROZEWICZ, 2015).

A NBR 7480 (ABNT, 2007) separa as armaduras para concreto em barras e fios. As barras são obtidas por laminação a quente e são encontradas em diversos diâmetros. O menor diâmetro é de 5,0 mm, e o maior, de 40 mm; os fios são obtidos por trefilação ou laminação a frio, e têm como menor diâmetro 2,4 mm, e o maior diâmetro, 10 mm. A norma também define que a massa linear da barra ou do fio (em kg/m) é obtida pelo produto da área da seção transversal nominal (em m²) pela massa específica do aço que é de 7850 kg/m³.

2.3.3 Durabilidade das estruturas

A durabilidade das estruturas de concreto armado é estabelecida de acordo com a manutenção inalterada de suas características e a desnecessidade de intervenções significativas durante sua vida útil. Essa durabilidade envolve a cooperação de todos os participantes nos processos de projeto, construção e utilização.

A NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que, para que uma estrutura tenha um desempenho e uma vida útil satisfatórios, o projeto deve ser realizado, levando em consideração a finalidade de uso e o local em que será construído, devido à agressividade ambiental que diz respeito às ações físicas e químicas que atacam as estruturas e definem a correta espessura de cobrimento das armaduras. A referida norma atenta que fatores como as formas arquitetônicas e estruturais, o sistema de drenagem da edificação, a correta disposição de juntas de dilatação e a qualidade do concreto utilizado são pontos de fundamental importância na durabilidade das estruturas.

Helene (2011) explica que durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura e o concreto, o ambiente e as condições de uso, a operação e a manutenção, e enfatiza que fatores como o traço do concreto, seu adensamento na

estrutura, o processo de cura efetiva e o cobrimento das armaduras são fatores determinantes na durabilidade das estruturas de concreto.

2.4 DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

As construções, por tratarem de ser um bem durável, além de serem corretamente projetadas e terem seus materiais escolhidos de forma inteligente, devem ter um desempenho que atenda às exigências dos seus usuários e ter durabilidade durante toda a vida útil da edificação.

Visando a definir os diversos requisitos qualitativos e quantitativos que devem ser contemplados pelas edificações ao longo de seu uso, surge, em 2008, e com posterior revisão e publicação em 2013, a NBR 15575, que é uma norma que define propriedades estabelecidas para a longevidade e conforto das edificações habitacionais. A norma define desempenho como o comportamento em uso de um edifício e seus sistemas, prescreve os requisitos e os critérios a serem atendidos e os métodos de avaliação sobre o que as construções residenciais no Brasil devam oferecer. Essa norma determina parâmetros para todas as etapas da construção e da manutenção, assim como as obrigatoriedades por parte de todos os envolvidos nas edificações, desde o projetista e o incorporador até o usuário final.

Esta contextualização é confirmada por Medeiros (2014, p. 12), quando afirma:

O desempenho de uma edificação ou de suas partes pode ser caracterizado como uma relação entre seu comportamento quando em uso e operação frente às condições de exposição e o comportamento esperado por seus usuários, levando em consideração às suas necessidades humanas em relação ao uso da edificação.

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013a) pode-se salientar que as normas preconizadoras de desempenho buscam atender às exigências dos usuários, independentemente dos materiais constituintes e dos sistemas utilizados.

A referida norma estabelece critérios de exigências dos usuários relativos à:

- segurança;
- habitabilidade;
- sustentabilidade.

A norma, NBR 15575 (ABNT, 2013a), que aborda as etapas construtivas de edificações, divide-se em seis partes que determinam cada subsistema construtivo a ser avaliado, são eles:

- Parte 1: Requisitos Gerais;
- Parte 2: Requisitos para os Sistemas Estruturais;
- Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Piso;
- Parte 4: Requisitos para os SVVIE;
- Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Cobertura;
- Parte 6: Requisitos para os Sistemas Hidrossanitários.

Para que seja possível enquadrar os diversos requisitos que as edificações devem oferecer, a norma define padrões mínimos, para que todos, independentemente do valor do imóvel, tenham uma moradia digna e durável. A norma também define parâmetros de desempenho intermediários e superiores, para que as edificações que buscam um padrão construtivo aprimorado tenham sua identificação justa perante a dedicação de qualidade buscada. Para que uma edificação se enquadre nos parâmetros de desempenho mínimo, ela deve ter uma vida útil de pelo menos cinquenta anos, e, para enquadrar-se na classificação de desempenho intermediário ou superior, devem ter vidas úteis superiores a 63 ou 75 anos, respectivamente.

Batagin (2015) salienta a importância da regularização de padrões construtivos provenientes da norma de desempenho de edificações, pois, além de estabelecer as responsabilidades para cada um dos mediadores no processo construtivo e da vida útil da edificação e enaltecer as necessidades e exigências dos usuários, valoriza o correto projeto e as boas práticas construtivas, assim como reafirma a importância da Normas Brasileiras existentes.

2.4.1 Desempenho de sistemas de vedações verticais internas e externas

Junto à NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), definem-se os parâmetros e requisitos de desempenho para sistemas de vedações verticais em edificações habitacionais. Parte deles são direcionados à Parte 1 da referida norma, que define requisitos gerais, comuns a todas as partes.

Buscando maior conhecimento sobre os sistemas de vedações verticais internos e externos (SVVIE), são pesquisados neste trabalho os requisitos inerentes à Parte 4 e aplicáveis diretamente as SVVIE, que estão dispostos a seguir:

- desempenho estrutural;
- segurança contra incêndio;
- estanqueidade;
- desempenho térmico;
- desempenho acústico.

O desempenho estrutural dos SVVIE é avaliado de forma a considerar as diversas ações e suas combinações, cujas alvenarias podem ser expostas ao longo da vida útil. Logo, os requisitos desse item são parametrizados, levando em conta os seguintes ensaios:

- solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos SVVIE;
- impacto de corpo mole nos SVVIE;
- impacto de corpo duro incidente nos SVVIE.

Os requisitos referentes a resistência à compressão excêntrica, aplicável a alvenarias com função estrutural, e a durabilidade e manutenibilidade, que são influenciados por aspectos que não são inerentes apenas ao sistema em si, não são abordados nesse estudo.

2.4.1.1 Desempenho estrutural – Solicitações de cargas de peças suspensas

A norma, NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) prescreve avaliação da ação de cargas de peças suspensas, pois o correto desempenho dos SVVIE acontece quando as alvenarias não apresentam fissuração, lascamentos, deslocamentos horizontais instantâneos (d_h) e residuais (d_{hr}) ou rupturas, quando solicitadas por esse tipo de ação, garantindo assim que não haja o arrancamento ou esmagamento de dispositivos de fixação ancorados aos SVVIE.

O ensaio consiste em fixar um sistema de mão-francesa padronizado na alvenaria em teste, que simula o uso de armários, quadros, lavatórios entre outros. Os diferentes parâmetros de ensaios exigidos, os critérios e os níveis de

desempenho para solicitações de cargas de peças suspensas podem ser verificados no Anexo A.

2.4.1.2 Desempenho estrutural – Impacto de corpo mole

Os ensaios de impactos de corpo mole procuram representar choques acidentais gerados pela utilização da edificação, atos de vandalismo, tentativas de intrusão etc. Assim, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) define que os SVVIE devem suportar impactos progressivos de corpo mole sem sofrerem instabilidades, rupturas ou falhas que comprometam sua utilização ou que provoquem danos a componentes acoplados às alvenarias, respeitando os limites de deslocamentos instantâneos e residuais indicados.

Os ensaios são realizados, aplicando o impacto de um saco cilíndrico de couro com 35 cm de diâmetro e 70 cm de altura e com massa de 400 ± 4 N, que, com um movimento pendular, atinge a alvenaria. As energias de impacto são expressas em Joules ($1 \text{ J} = \text{N} \cdot \text{m}$ ou $1 \text{ J} = \text{kgf} \times \text{dm}$). As maiores energias referem-se ao estado-limite último (impactos de segurança). Os diferentes parâmetros de ensaios exigidos, critérios e níveis de desempenho para solicitações de Impacto de corpo mole podem ser verificados no Anexo A.

2.4.1.3 Desempenho estrutural – Impacto de corpo duro

Os impactos de corpo duro são realizados, representando choques acidentais que possam vir a acontecer nas edificações, gerados por sua própria utilização ou por possíveis atos de vandalismo, entre outros. A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) estabelece que os SVVIE devem suportar o impacto de corpo duro, sem sofrerem ruptura, sem se tornarem instáveis ou comprometer seu estado de utilização.

Os ensaios consistem na aplicação de impactos por esferas de aço com diâmetro de 5 cm / massa de 5 N (impactos de utilização) e diâmetro de 6,25 cm / massa de 10 N (impactos de segurança). Os diferentes parâmetros de ensaios exigidos, os critérios e os níveis de desempenho para solicitações de impacto

de corpo duro em vedações verticais com ou sem função estrutural podem ser verificados no Anexo A.

2.4.1.4 Segurança contra incêndio

Ao tratar de segurança contra incêndio, muitos fatores devem ser levados em consideração, tais como fundamentos de projeto, propriedades dos materiais e dos elementos da construção (CBIC, 2013). Os ensaios devem ser realizados para caracterizar os diversos aspectos que influenciam esses fatores. A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) estabelece que em SVVIE não estruturais, eles devem dificultar a ocorrência de inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio propagar fumaça em excesso, além de evitar a propagação do fogo para os demais ambientes da edificação. Por isso os materiais inerentes ao sistema têm de passar por testes que avaliem sua reação ao fogo.

A norma estabelece ainda que a avaliação dos materiais deve ser realizada a partir do método estabelecido pela NBR 9442 (ABNT, 1986) – Materiais de construção – qual seja determinar o índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. Alguns materiais, porém, reagem ao fogo por derretimento ou retração abrupta ou ainda são compostos de diversas camadas. Nesse caso, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) define que, para esses tipos de materiais, a classificação deve ser feita pelo método exposto na EN 13823 – *Reaction to fire tests for building products – Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item (SBI)*. Em ambos os métodos, com os resultados dos ensaios, podem-se classificar os materiais constituintes dos SVVIE.

A Tabela 4, que segue, expõe a classificação de materiais pelo método da ABNT NBR 9442 (ABNT, 1986), a qual é utilizada para este trabalho, pois os blocos em estudo não se enquadram nos aspectos da norma europeia. Mais informações sobre a classificação de materiais pelo método da EN 13823 pode ser vista no Anexo B.

Tabela 4 - Classificação de materiais pelo método da NBR 9442 (ABNT, 1986)

Classe		Método de ensaio		
		ISO 1182	ABNT NBR 9442	ASTM E 662
I		Incombustível $\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta m \leq 50 \%$; $t_f \leq 10 \text{ s}$.	–	–
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m > 450$
III	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m > 450$
IV	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m > 450$
V	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \geq 450$
VI		Combustível	$l_p \leq 25$	–

Onde:

l_p – Índice de propagação superficial da chama;

D_m – Densidade específica óptica máxima de fumaça;

ΔT – Variação da temperatura interna do forno;

Δm – Variação da massa do corpo de prova;

t_f – Tempo de flamejamento do corpo de prova.

ISO 1182 – *Buildings materials – non – combustibility test*;

ASTM E 662 – *Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials*.

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) determina que todos os SVVIE devem ser avaliados quanto à reação ao fogo em ocorrência de inflamação generalizada, com classificação relativa à área em que está sendo usada. Já no que tange à propagação de incêndio, somente as superfícies externas das alvenarias (fachadas) devem ser avaliadas.

Outro parâmetro a ser determinado quando se avalia os SVVIE é a sua resistência ao fogo. Em muitos casos há alvenarias de vedação que têm revestimento que pode ser incombustível, mas constituídas com blocos que devem suportar a grande energia térmica que o calor emprega sobre o sistema. Em vista disso, a CBIC (2013) determina que se deve classificar a resistência ao fogo em SVVIE, conforme os seguintes critérios:

- Estanqueidade: avaliam-se chamas ou gases quentes que são liberados por fissuras ou aberturas nos sistemas de vedação;
- Isolamento térmico: avalia-se se o calor emanado pela alvenaria ameaça pessoas ou objetos encontrados na face não exposta ao fogo. O isolamento térmico deixa de ser atendido, quando se considera que a temperatura da face não exposta ao fogo atinge $140^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ na média, ou $180^{\circ}\text{C} + T_{\text{ambiente}}$ em qualquer ponto de medida;
- Estabilidade: avalia-se se o sistema construtivo não perde seu caráter funcional, ou seja, não entra em colapso durante o ensaio.

De acordo com a NBR 10636 (ABNT, 1989), que define a resistência ao fogo de paredes divisórias sem função estrutural, pode-se enquadrar os SVVIE em nas seguintes categorias:

- Estável ao fogo: quando atender ao critério de estabilidade;
- Para-chamas: quando atender aos critérios de estabilidade e estanqueidade;
- Corta-fogo: quando atender aos critérios de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico.

Para preservar a estabilidade da edificação em situação de incêndio, é de grande importância a caracterização dos materiais que compõem os elementos de vedação vertical. Quando esses sistemas têm interação estrutural (não se aplica a este trabalho), quando são alvenarias de divisão (geminção) entre unidades habitacionais ou quando separam unidades de moradia das respectivas áreas comuns de edificações, a norma enfatiza que, para que sejam atendidas as necessidades de segurança contra incêndio, devem ser atendidos também os requisitos estabelecidos na NBR 14432 (ABNT, 2001) – Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento conforme legislação vigente.

2.4.1.5 Estanqueidade

As alvenarias das edificações têm contato direto com as intempéries climáticas, como a grande intensidade das águas e os ventos provenientes de chuvas e tempestades. Por isso, os ensaios devem verificar se os sistemas de fachadas permanecem estanques ao ar e à água (MEDEIROS, 2014).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) estabelece que a superfície externa das alvenarias (fachadas), incluindo interfaces entre janelas e paredes, não devem apresentar infiltrações que gerem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água na face interna. É permitido apenas pequenas manchas determinadas em relação ao tipo de edificação.

O ensaio de estanqueidade consiste em exercer uma pressão estática, que é definida em relação à região em que o imóvel ficará situado, e uma carga de vazão de água 3 L/min/m² por um período de sete horas. A Tabela 5, que segue, classifica as condições de pressão de ensaio referente às regiões do Brasil. As regiões são determinadas conforme o Anexo C, disposto ao final deste trabalho.

Tabela 5 - Condições de ensaio de estanqueidade à água em vedações externas

Região do Brasil	Condições de ensaio	
	Pressão estática (Pa)	Vazão de água (L/min/m ²)
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Ao abordar estanqueidade, a referida norma também estabelece um requisito em relação à umidade nos SVVIE, decorrente da ocupação do imóvel. Segundo ela, devem ser tomados os devidos cuidados para que não haja infiltração de água nas alvenarias, através de suas faces, quando em contato com áreas molháveis e molhadas.

2.4.1.6 Desempenho térmico

O desempenho térmico em uma edificação impacta na habitabilidade, pois afeta o conforto das pessoas e as condições adequadas de uma habitação, repercutindo diretamente no gasto energético (CBIC, 2013). Por causa disso, as alvenarias de vedação devem ter transmitância e capacidade térmica que satisfaçam os critérios da NBR 12272-4 (ABNT, 2013b)

Essa norma define que a avaliação de desempenho térmico de alvenarias pode ser feita de forma simplificada, ou seja, com base nas propriedades térmicas no material das fachadas, baseando-se na zona bioclimática em que o imóvel se encontra. Caso os resultados da avaliação não atendam os critérios da norma para o procedimento simplificado, recomenda-se avaliar os parâmetros térmicos por simulação no *software Energy Plus*, ou então por medições em campo, já que estas últimas avaliam as condições de ventilação e sombreamento da edificação, além dos materiais que constituem as fachadas.

Os valores máximos admissíveis para transmitância térmica (U) podem ser verificados na Tabela 6. Já, na Tabela 7, estão expostos os valores mínimos admissíveis para capacidade térmica (CT) para as paredes externas (fachadas) das edificações.

Tabela 6 - Transmitância térmica em vedações externas

Transmitância Térmica (U)		
W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 6, 7 e 8	
	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
U ≤ 2,5	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

^a α é a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

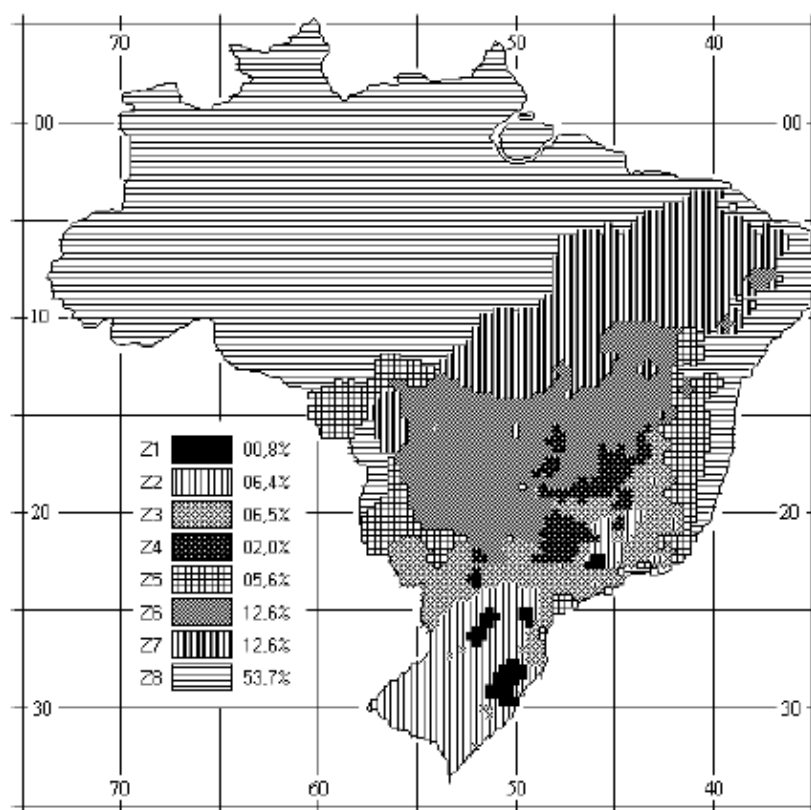
Tabela 7 - Capacidade Térmica em vedações externas

Capacidade Térmica (CT)	
kJ/m².K	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	≥ 130
Zona 8	Sem requisito

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

As zonas bioclimáticas são definidas pela norma de desempenho com base na NBR 15220-3 (2005). Essa norma estabelece o zoneamento climático em relação ao desempenho térmico de edificações, e podem ser verificadas na Figura 8.

Figura 8 - Zonas bioclimáticas brasileiras



Fonte: NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

2.4.1.7 Desempenho acústico

A poluição sonora é um fato inerente ao crescimento dos centros urbanos, tornando-se um problema que, além de causar desconforto e irritabilidade, pode causar danos à saúde dos usuários (MEDEIROS, 2014). Por isso, a avaliação do comportamento das alvenarias de vedação torna-se de grande importância na escolha de SVVIE.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) define que deve ser verificado nas alvenarias, o nível de isolamento acústico existente entre o meio externo e o interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e as áreas comuns. Para isso, devem ser realizados ensaios em laboratório, que avaliem o Índice de redução sonora ponderado (R_w), aplicável para fabricantes de blocos e projetos, ou ensaios em campo, os quais tomam valores de Diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$), definíveis para a edificação em si, sendo cada tipo de ensaio baseado em normas internacionais (ISOs).

Tabela 8 - Parâmetros de verificação acústica

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
R_w	Índice de redução sonora ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais internas, em edificações
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

O nível de desempenho dos SVVIE é definido pela norma em valores ponderados em relação às vedações externas (fachadas) – avaliando a repercussão nos dormitórios –, relacionando-as diretamente com a localização da habitação e com as alvenarias internas, considerando as diferentes situações em que o elemento pode estar alocado. No Anexo A, podem ser verificados os índices ponderados de redução sonora exigidos para ensaios laboratoriais realizados em

vedações externas, e entre ambientes e seus referidos níveis de desempenho para vedações internas. A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) determina igualmente uma redução de exigência de 5 dB para ensaios de campo.

2.5 CUSTOS CONSTRUTIVOS

Diversos são os parâmetros, quando se avalia um produto ou investimento. Porém, os mais diversos segmentos da economia têm um olhar predominante à produtividade do capital, fazendo com que interajam de forma consciente acerca dos custos (SHERIF; KOLARIK, 1981, apud BRONDANI, 2015, p. 69).

Logo, em meio à corrente crise nacional, em que a construção civil foi um dos mercados mais abalados, os profissionais que atuam nesse setor devem estar focados, e valorizar seus empreendimentos, realizando os orçamentos e avaliando os custos de forma consistente, para obter um retorno consideravelmente atrativo para os esforços necessários que envolvem a construção e incorporação de imóveis.

2.5.1 Orçamento

Um retorno financeiro satisfatório e o sucesso de construtoras e incorporadoras estão intimamente ligados a uma eficiente orçamentação (MATTOS, 2006).

Segundo Ávila et al. (2003), "orçar é quantificar insumos, mão de obra, ou equipamentos necessários à realização de uma obra ou serviço, bem como os respectivos custos e o tempo de duração dos mesmos".

Para que um haja bom planejamento e acompanhamento dos custos construtivos, um orçamento bem especificado da obra é a mais significativa ferramenta, e para que ele seja elaborado corretamente. Além disso, os projetos e memoriais são fundamentais, pois com eles faz-se possível o levantamento dos quantitativos de cada etapa e serviço da construção (GOLDMAN, 2004).

Goldman (2004) ressalta que a quantificação por serviço é de extrema importância, pois ela definirá as quantidades de insumos necessários e o número de equipes de trabalho em relação ao prazo desejado de conclusão da obra.

2.5.2 Custos

No que respeita aos custos, eles podem ser classificados em custos diretos e custos indiretos. Os diretos englobam os custos de materiais e mão de obra necessários para as principais atividades na obra, enquanto os custos indiretos referem-se aos serviços indiretos, como custos com implantação do canteiro, equipes de administração e apoio, e demais equipamentos e custos que não se envolvem diretamente na execução das obras (MATTOS, 2006).

Mattos (2006) salienta que, identificando, quantificando e orçando todos os serviços necessários em uma obra, ou seja, somando custos diretos, custos indiretos e taxas, pode-se obter o custo total da obra.

Goldman (2004) explica que a possibilidade de mensurar e orçar uma construção é feita pela obtenção dos custos unitários referentes aos serviços necessários. Esses custos unitários são obtidos com os apontamentos denominados de composição de custos, que são composições formadas pela combinação de todos os insumos para realização de determinado trabalho, ou seja, materiais, mão de obra, equipamentos e ferramentas necessárias para cada tipo de atividade, e referem-se ao valor unitário para a execução de uma determinada unidade do serviço referido.

As composições de custos usadas na construção civil são tomadas pelas adequações do histórico de trabalhos feitos pela própria empresa ou referenciadas por composições de livros e revistas técnicas tradicionais do mercado. Também podem ser utilizadas composições de fornecedores dos materiais e de empresas de consultoria especializadas na área (GOLDMAN, 2004).

Sendo este um trabalho que tem como intuito relacionar níveis de desempenho dos SVVIE, que não apenas abrangem a construção e incorporação do imóvel, com custos de obra, é importante salientar que, conforme NBR 15575-4 (ABNT, 2013a), os custos globais, também tidos como totais, são determinados considerando-se, além do custo inicial, os custos de operação e manutenção ao longo da vida do empreendimento.

2.5.2 Decreto 7893/2013

Para que o país tivesse uma base homogênea de valores-base para a realização de orçamentos e levantamentos de custo, em 8 de abril de 2013, a Presidente da República, por intermédio da Casa Civil, estabeleceu regras e critérios para a elaboração de orçamento de referência de obras e serviços de engenharia.

Por intermédio do Decreto 7893/2013, estabeleceu-se que, *in verbis*:

Art. 3.º O custo global de referência de obras e serviços de engenharia, exceto os serviços e obras de infraestrutura de transporte, será obtido a partir das composições dos custos unitários previstas no projeto que integra o edital de licitação, menores ou iguais à mediana de seus correspondentes nos custos unitários de referência do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - Sinapi, excetuados os itens caracterizados como montagem industrial ou que não possam ser considerados como de construção civil (BRASIL, 2013).

Ainda, no mesmo Decreto 7893/2013, em seu artigo 3.º, parágrafo único, está definido que “[...] O Sinapi deverá ser mantido pela Caixa Econômica Federal – CEF, segundo definições técnicas de engenharia da CEF e de pesquisa de preço realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE” (BRASIL, 2013).

Assim sendo, o levantamento de custos neste estudo para comparação de valores finais tem como base o Sinapi.

3 METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa constituiu-se de uma descrição da edificação utilizada para a elaboração do estudo. Em seguida, criaram-se os critérios para a elaboração do projeto estrutural. Seguiu-se a apresentação dos blocos que foram utilizados neste trabalho e a descrição dos métodos de seleção deles à luz das normas e laudos. Uma vez selecionados os blocos, foram elaborados três dimensionamentos estruturais, um para cada sistema de alvenaria.

Não se atendo apenas aos resultados obtidos, em que os comparativos se conformavam entre edificações constituídas por SVVIE de apenas uma espécie de material de fabricação dos blocos inseridos nos sistemas, e baseando-se em referências citadas anteriormente neste trabalho (item 2.2.6), modelou-se uma outra edificação com SSVIE mistos. Essa edificação foi dotada de sistemas de vedação internos compostos por blocos cerâmicos cujo custo foi menor, e alvenarias de fachada com BCCA, cujo desempenho térmico é superior aos demais. Tal composição de sistemas foi escolhida, pois, além do que foi citado, esses sistemas destacaram-se em relação à segurança contra incêndio, tendo resultados de corta fogo de 240 minutos (Tabelas 14 e 20), ao passo que as alvenarias compostas pelos blocos inseridos neste estudo apresentaram corta fogo de 180 minutos (Tabela 17). Ressalta-se que a estanqueidade dos sistemas tem desempenho superior para todos os casos, e é um parâmetro que não foi usado para o pareamento dos dados.

Por fim, foram definidos métodos de quantificação para avaliação e comparação dos diferentes desempenhos das alvenarias e distintos custos construtivos.

3.1 A EDIFICAÇÃO

Para a realização deste trabalho selecionou-se um projeto arquitetônico de uma edificação de múltiplos pavimentos. A escolha recaiu sobre o Residencial Ícaro, imóvel a ser executado na cidade de Caxias do Sul, RS.

O Residencial Ícaro foi projetado para uso multifamiliar, e é constituído de onze pavimentos. Desses, o pavimento subsolo e o térreo foram destinados para estacionamentos. Oito pavimentos-tipo servirão para habitação. A edificação contará

também com um pavimento de cobertura, com dois reservatórios de água superiores e dois poços destinados para elevadores.

Os pavimentos-tipo são constituídos de quatro unidades habitacionais. As de menor porte terão 68 m² cada, e as de área superior, 87 m². Cada pavimento-tipo resulta, quando se quantificam em conjunto as unidades habitacionais e as áreas comuns, em 360 m².

Cada pavimento-tipo tem pé-direito de 2,72 m, e é composto de 394,42 m² de alvenarias internas e 258,70 m² de vedações externas, totalizando 653,12 m² de SVVIE por pavimento. A edificação como um todo engloba 32 apartamentos, e perfaz uma área de construção total de 4680 m². O projeto arquitetônico, com caracterização da edificação pode ser observado nos Apêndices A e B.

3.2 PROJETO ESTRUTURAL

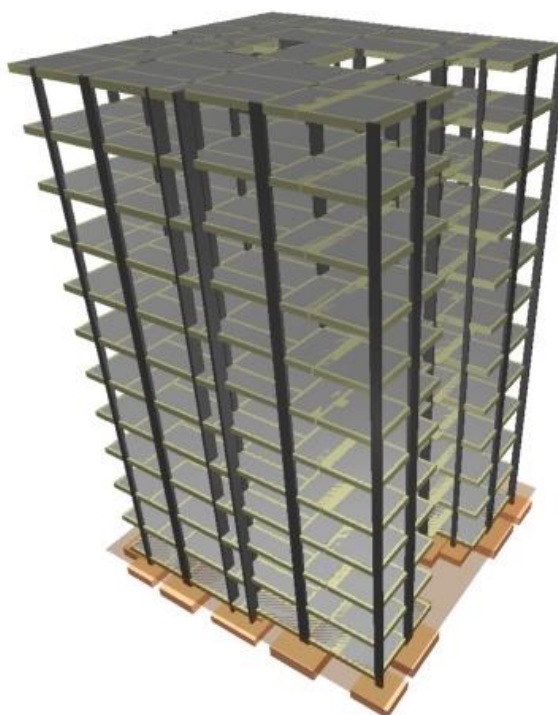
A concepção estrutural da edificação foi iniciada pela determinação das cargas e ações que atuarão na estrutura, que se expressam pelos pesos próprios dos materiais utilizados, os esforços de uso e as ações provenientes da localidade e agressividade ambiental para a qual foi projetada. Definido isso, pode-se iniciar a análise e o dimensionamento estrutural, que acontece com a disposição dos elementos estruturais com base no projeto arquitetônico. Esses elementos são compostos de lajes maciças, vigas, pilares e escada de concreto armado moldado *in loco*. O dimensionamento da estrutura foi realizado pelo autor deste trabalho, utilizando o *software* EBERICK versão V10, ferramenta amplamente utilizada por profissionais atuantes na área.

Para o pré-dimensionamento, consideram-se as áreas de influência para estimar as dimensões iniciais dos pilares, que foram dispostos nos pavimentos-tipo em conformidade com o projeto arquitetônico, de modo que haja o maior ganho de área e de circulação dentro dos ambientes dos apartamentos. O lançamento das vigas foi realizado, considerando para as bases as espessuras das alvenarias selecionadas, conforme cada tipo de bloco em análise na pesquisa e, para a altura, a relação usual de "vão/10" a "vão/12". As lajes maciças foram lançadas com espessuras iniciais estimadas em 10 cm para os pavimentos-tipo, pois a CBIC (2013) afirma que, para um atendimento ao nível mínimo de desempenho de

isolamento acústico de ruídos de impacto em pisos e coberturas, as lajes de concreto armado devem ter espessura entre 10 e 12 cm, não havendo melhorias um acréscimo de espessura além de 12 cm, pois, para melhorias de desempenho, é necessária a utilização de outros elementos construtivos.

No edifício em análise, embora tenha composição arquitetônica de oito andares de pavimento-tipo, um pavimento de cobertura e dois andares de garagem – estes últimos compostos basicamente de concreto armado sem alvenarias de vedação por serem estacionamentos, o projeto estrutural será lançado, considerando os onze andares da edificação como pavimentos-tipo visto que os resultados buscados neste trabalho tem foco em possíveis alternativas técnicas de SVVIE, podendo conseqüentemente serem aplicáveis a outras edificações. A edificação pode ser observada na Figura 9, a seguir, conforme exposto.

Figura 9 - Modelo tridimensional do sistema estrutural da edificação



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.2.1 Ações atuantes na estrutura

A consideração das cargas e ações que atuam sobre a edificação, e, por conseguinte, em suas estruturas ao longo da vida útil, são ponderações que devem ser feitas com base na normatização disponível.

As ações são tomadas como permanentes, e são as cargas verticais decorrentes dos pesos próprios dos elementos estruturais e ações oriundas das cargas impostas pelas alvenarias, pelos revestimentos e pelos reservatórios de água podem ser obtidas pela avaliação do tipo de material empregado por meio de normas, ensaios laboratoriais ou pelas especificações de fornecedores

Carregamentos advindos do uso da edificação também devem ser considerados. São as chamadas cargas acidentais, cujos valores, com a definição arquitetônica do tipo de ocupação de cada espaço, podem ser obtidos por intermédio da NBR 6120 (ABNT, 2000), que define as cargas para cálculo de estruturas de edificações, conforme apresentado na Tabela 9 que segue:

Tabela 9 - Carregamentos acidentais

Local de ocupação	Carregamento (kN/m²)
Casa de máquinas	7,5
Corredores com acesso ao público	3,0
Corredores sem acesso ao público	2,0
Escadas sem acesso ao público	2,5
Dormitórios, sala, cozinha e banheiro	1,5
Dispensa, área de serviço e lavanderia	2,0
Garagens e estacionamentos	3,0
Terraços com acesso ao público	3,0
Terraços inacessível a pessoas	0,5

Fonte: Adaptado de NBR 6120 (ABNT, 2000).

As cargas permanentes e acidentais são chamadas de cargas verticais. A estrutura da construção recebe também esforços horizontais pela ação do vento. As diretrizes para estabelecer esses esforços são definidas pela NBR 6123 (ANBT, 2013), que estabelece parâmetros para a definição das forças devidas ao vento nas edificações, e determina fatores para cada situação de exposição. Esses fatores devem ser ponderados e definidos para um correto projeto estrutural.

A edificação selecionada para este trabalho será executada em Caxias do Sul, RS, cidade que se situa na Região IV, e que, segundo as isopletras de ação dos ventos, mostradas na NBR 6123 (ABNT, 2013), e que podem ser conferidas no Anexo C, apresenta uma velocidade eólica básica de magnitude de $V_0 = 45$ m/s. Devido à obra ser edificada em terreno plano, distante de morros e taludes, foi possível determinar o fator topográfico $S_1 = 1,0$. A rugosidade do terreno é denominada pelo fator S_2 , e tem definição de classe segundo a dimensão da edificação, a qual se enquadra na classe B – que tem maior dimensão de superfície frontal entre vinte e cinquenta metros, e tem definição de categoria segundo o território de entorno da edificação que se enquadra na categoria IV – que é definida por ter terrenos com muitos e próximos obstáculos. O fator estatístico considera o grau de segurança da edificação, e relaciona-se ao possível colapso da edificação e seu impacto no entorno do imóvel. Tendo o empreendimento uma cercania composta por edificações com alto fator de ocupação, este se enquadra no grupo 2, resultando um fator $S_3 = 1,00$. A correta seleção desses fatores é de suma importância, pois implica diretamente a obtenção da pressão dinâmica que o vento infligirá na edificação.

A determinação adequada das cargas e ações é crucial para o correto dimensionamento de edificações, porém, além dessas dispostas aqui, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece que devem ser realizadas combinações das ações e ponderações delas em relação aos diferentes estados de serviço atuantes ao longo da vida útil do imóvel. Por causa do grande número de combinações possíveis que devem ser verificadas, o uso de *softwares* beneficiam os projetos realizados, pois analisam as mais variadas condições possíveis, favorecendo a segurança estrutural da edificação e otimizando seus processos de dimensionamento (VASCONCELOS, 2012).

3.2.2 Parâmetros para o dimensionamento estrutural

O concreto definido para a conformação da estrutura tem papel fundamental não apenas na resistência às cargas que são impostas pelas ações atuantes na edificação, mas também na durabilidade e na proteção das armaduras constituintes do esqueleto estrutural. Assim, é necessário avaliar as propriedades dos materiais a serem usados.

As escolhas relativas à classe do concreto a ser utilizado, sua relação água/cimento, e o cobrimento necessário para as armaduras são definidos com referência à agressividade ambiental do local de implantação do projeto – conforme a Tabela 10 a seguir – e determinados pela NBR 6118 (ABNT, 2014), que define os procedimentos para projetos de estruturas de concreto. Os parâmetros normativos necessários para uma correta seleção do concreto estrutural em relação ao ambiente de exposição podem ser verificados, a seguir, nas Tabelas 11 e 12. São informações normatizadas que expressam somente a relação de uso de concreto com armadura passiva, ou seja, concreto armado.

Tabela 10 - Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de Agressividade Ambiental	Agressividade	Classificação geral do ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural ou Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha ou Industrial	Grande
IV	Muito Forte	Industrial ou Respingos de maré	Elevado

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 11 - Relação entre classe de agressividade ambiental e qualidade do concreto

Concreto	Classe de Agressividade Ambiental			
	I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953:2015)	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 12 - Relação entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal

Componente ou elemento estrutural	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
	Cobrimento nominal (mm)			
Laje	20	25	35	45
Viga / Pilar	25	30	40	50
Elementos em contato com o solo	30	30	40	50

Fonte: Adaptado de NBR 6118 (ABNT, 2014).

Uma vez que a construção em estudo será edificada em área urbana, o ambiente a ser considerado tem agressividade moderada de classe II, apresenta risco de deterioração pequeno, e a execução das estruturas de concreto armado deve ser executada com concreto C25 ou outro de maior resistência. Nesse caso, optou-se pelo concreto C30, e com relação água/cimento 0,60 ou menor. Deverão ser respeitados os cobrimentos nominais de 25 mm para lajes, 30 mm para vigas e pilares e, no mínimo, 30 mm para os elementos estruturais em contato com o solo.

3.3 BLOCOS DE VEDAÇÃO

Existe uma vasta oferta de blocos no mercado, grande parte deles nem sempre são fabricados de maneira a atender regularmente as exigências técnicas. Para este estudo consideram-se apenas blocos que foram analisados por associações certificadas, por instituições de referência ou de empresas que tenham feitos os testes necessários, comprovando as exigências para que possam se encaixar dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

3.3.1 Blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos considerados neste estudo são blocos vazados com aberturas na vertical, de modo que a execução de alvenarias em geral com este tipo de bloco não necessita de posterior aberturas de rasgos ou canaletas para a inserção das tubulações elétricas e hidrossanitárias, resultando em menor geração de resíduo no canteiro, fator a ser levado em consideração, pois a construção civil é um dos maiores geradores de resíduos sólidos no mundo.

Uma vez que é necessária a certificação de parâmetros de desempenho comprovada por ensaios realizados por instituições credenciadas na ABNT, os blocos em análise são selecionados com base em ensaios de duas fabricantes, a Construrohr, que tem sede em Bom Princípio, e a Pauluzzi, sediada em Sapucaia do Sul, ambas no Estado do Rio Grande do Sul. Essa seleção foi baseada no fato de que, além de essas empresas serem grandes fabricantes de blocos cerâmicos no Brasil, elas realizaram os ensaios e as análises necessários para parametrizar seus produtos, de modo a ser possível definir o tipo e dimensão de blocos, conforme os níveis de desempenhos desejados em conformidade com a norma.

3.3.2 Blocos de concreto

Em parceria com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto (BlocoBrasil) lançou em 2014 seu primeiro Manual de Desempenho da Alvenaria com blocos de concreto.

Hoje, na sua 3.^a edição, atualizada em abril de 2018, esse manual otimiza o trabalho de projetistas e construtores quanto à seleção de blocos de concreto junto aos critérios exigidos pela norma de desempenho, de modo que todos os blocos ensaiados para obtenção de resultados foram fornecidos por fabricantes credenciados e associados à BlocoBrasil e possuidores do Selo de Qualidade da ABCP.

O manual usado para a seleção dos blocos nesta pesquisa, não disponibiliza dados para avaliação quanto à estanqueidade. Esse requisito teve sua avaliação em conformidade com uma publicação encontrada nos Anais do 59.^o Congresso Brasileiro do Concreto, intitulada Verificação da Resistência Mecânica à Tração de Revestimento do Tipo Monocamada Aplicada em Blocos de Concreto Submetido ao Ensaio de Estanqueidade à Água (LERNER *et al.*, 2017). Nessa publicação, podem ser encontrados resultados de ensaios realizados em conformidade com os critérios da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e podem ser avaliados para uso nesta pesquisa na seleção do bloco correto e dos respectivos revestimentos argamassados

3.3.3 Blocos de concreto celular autoclavado

Sendo um material de produção recente, quando comparado aos anteriores, os blocos de concreto celular autoclavados (BCCA) são fabricados e fornecidos ainda por um número pequeno de empresas no âmbito nacional, pois, além do grande investimento que deve ser feito por empreendedores, o país ainda tem alguns profissionais do ramo que relutam ao uso de novas tecnologias, desfavorecendo a comercialização. No entanto, no Brasil, podem-se encontrar empresas que, além de fabricar e fornecer os BCCA, têm o intuito de comprovar a qualidade desse material. Uma delas é a Celucon, localizada no Morro da Fumaça, no Estado de Santa Catarina.

Neste trabalho os laudos de ensaios fornecidos pela empresa para aprofundamento da pesquisa e escolha dos blocos desse material são verificados, visto que a Celucon analisou seu material em instituições e laboratórios especializados, fazendo com que seja possível determinar os blocos que estão em conformidade com a norma de desempenho de edificações habitacionais a serem usados.

Para maior credibilidade do trabalho e confirmação de dados e ensaios, tomou-se como fonte auxiliar para seleção dos BCCA a tese de mestrado intitulada Análise do Desempenho de Blocos de Concreto Celular Autoclavado em um Sistema de Vedação Externa, redigida em 2014, pelo Professor Mestre Marcelo Queiroz Varisco, e apresentada no Instituto de Engenharia do Paraná.

3.4 PARÂMETROS DE SELEÇÃO DOS BLOCOS

A seleção dos blocos utilizados neste estudo e, portanto, carregados na estrutura, efetua-se com base nos parâmetros dispostos na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), que define critérios e níveis de desempenho para sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE).

A avaliação dos blocos e alvenarias compostas por estes é realizada mediante a verificação de laudos dos ensaios realizados, possibilitando a concepção deste estudo em que se realiza a interpretação dos resultados desses ensaios, e, em conferência com os requisitos determinados pela norma NBR 15575-4 (ANBT, 2013b), define quais composições de SVVIE estão de acordo com as necessidades da edificação selecionada, em que são consideradas as alvenarias constituídas inteiramente de blocos e argamassas de assentamento e revestimento, sem aberturas, com o objetivo de avaliar a influência dos blocos e suas diferentes necessidades de rebocos de argamassa para contemplar os parâmetros exigidos.

3.4.1 Desempenho estrutural

No que respeita o desempenho estrutural, faz-se necessário o levantamento de dados relativos ao comportamento estrutural dos SVVIE, pois, além do conforto dos usuários, essa premissa tem grande importância na segurança desses sistemas, uma vez que, segundo a NBR 15575-4 (ABNT, 2013a), um elemento que não apresenta desempenho estrutural em conformidade com as exigências de uso e operação pode acarretar sua instabilidade e perda de equilíbrio, como corpo rígido, deformação plástica excessiva ou até a ruptura dos materiais e/ou do elemento como um todo.

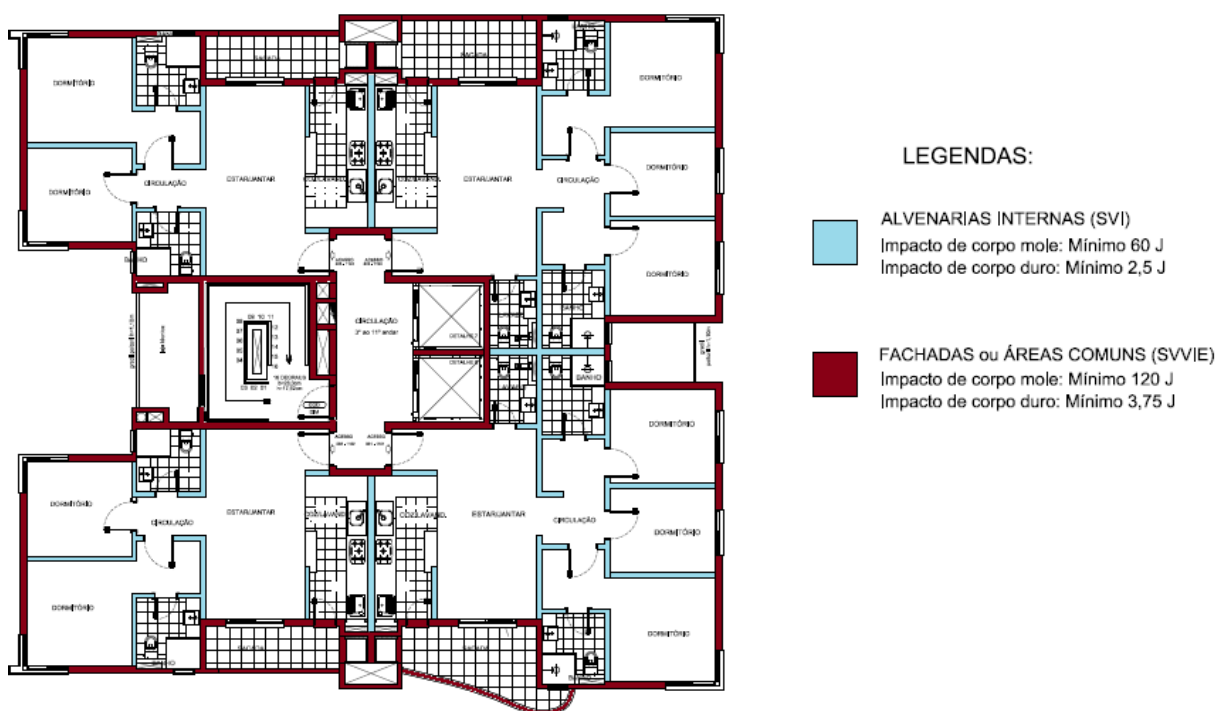
3.4.1.1 Solicitações de cargas de peças suspensas

A avaliação desse critério é feita com base em resultados dos ensaios realizados de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), em que tanto para alvenarias internas quanto externas, as alternativas técnicas são avaliadas com mesmos critérios, conforme Anexo A, Tabela A.1, de modo que os SVVIE se enquadrem nos critérios de desempenho estabelecidos ao menos nos níveis mínimos de desempenho.

3.4.1.2 Impacto de corpo mole

A avaliação desse critério é efetuada com base em resultados dos ensaios realizados de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), conforme Anexo A, Tabela A.2, para avaliação das vedações verticais externas, e conforme os dados da Tabela A.3, para vedações verticais internas, de maneira que os SVVIE se enquadrem nos critérios de desempenho estabelecidos, ao menos, nos níveis mínimos de desempenho. A seguir, na Figura 10, para uma maior compreensão da análise das alvenarias dos pavimentos-tipo deste item junto à norma, está exposta a seleção das alvenarias, realizada com base nos critérios de desempenho necessários para impacto de corpo mole e seus referidos desempenhos mínimos.

Figura 10 - Seleção dos SVVIE quanto à energia de impacto de corpo mole e corpo duro.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.4.1.3 Impacto de corpo duro

A avaliação desse critério é realizada com base em resultados dos ensaios concebidos de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), conforme Anexo A, Tabela A.4, para avaliação das vedações verticais externas, e conforme os dados da Tabela A.5, para vedações verticais internas, de modo que os SVVIE se enquadrem nos critérios de desempenho estabelecidos ao menos nos níveis mínimos de desempenho.

Na Figura 10, acima, para melhor compreensão da análise das alvenarias dos pavimentos-tipo deste item junto à norma, está exposta a seleção das alvenarias, feita com base nos critérios de desempenho necessários para impacto de corpo duro e seus referidos desempenhos mínimos.

3.4.2 Segurança contra incêndio

Esse critério, diferentemente dos anteriores, é avaliado conforme a norma de desempenho, porém com base no método determinado pela NBR 9442 (ABNT, 1986), que estabelece critérios de classificação dos materiais, que estão na Tabela 4, apresentada anteriormente neste trabalho, no subitem 2.4.1.4.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) define a classificação em relação à reação dos SVVIE ao fogo, conforme a disposição das alvenarias entre ambientes das edificações.

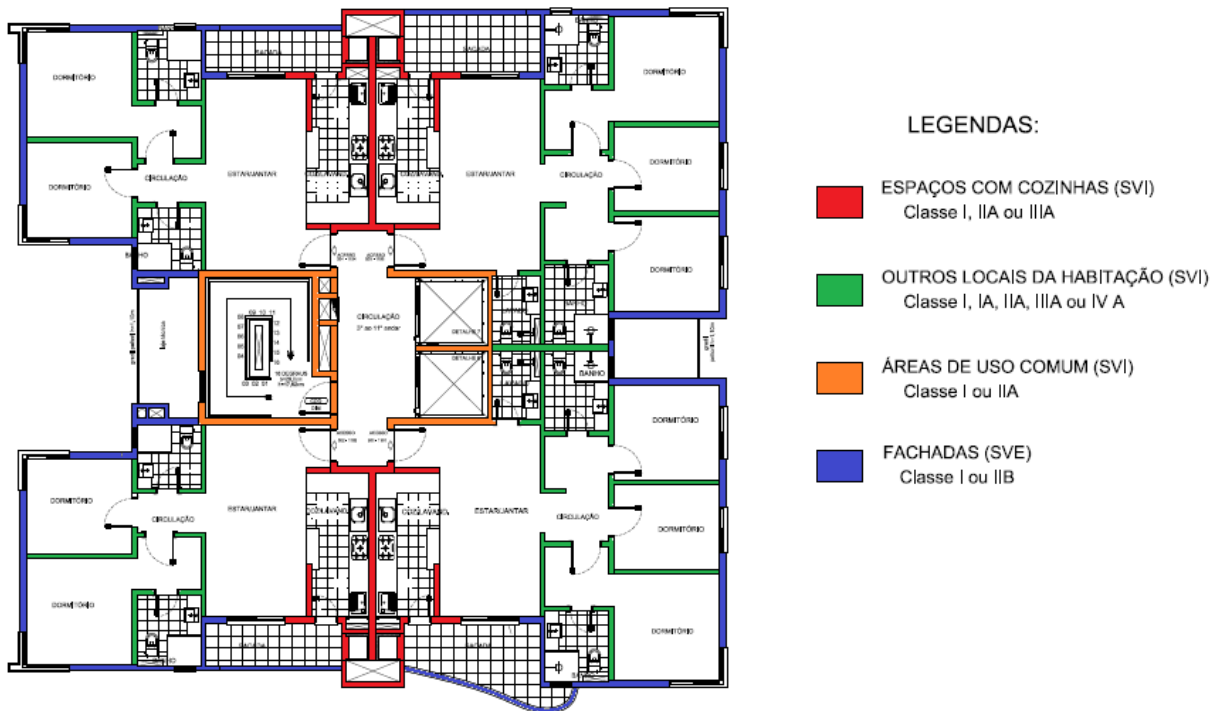
Ao tratar de superfícies internas das vedações externas (fachadas) e todas as superfícies das alvenarias internas, a norma – NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) – define que a classe dos sistemas de vedações devem ser:

- I, IIA ou IIIA, quando associadas a espaços de cozinha;
- I, IIA, IIIA ou IV A, quando associadas a espaços internos alheios a cozinha;
- I ou IIA, quando associadas a áreas de uso comum da edificação;
- I ou IIA, quando utilizadas em interiores de escadarias, porém com densidade óptica de fumaça (D_m) < 100.

Ao definir a classe em relação a superfícies externas (fachadas) de vedações externas, estas devem ser classificadas como I ou IIB.

Como descrito anteriormente, a classificação dos SVVIE quanto à segurança contra incêndio é realizada com base nos recintos da edificação em análise. Na Figura 11, a seguir, apresenta-se a seleção das alvenarias de vedação, conforme exigido em norma.

Figura 11 - Seleção dos SVVIE quanto à segurança contra incêndio



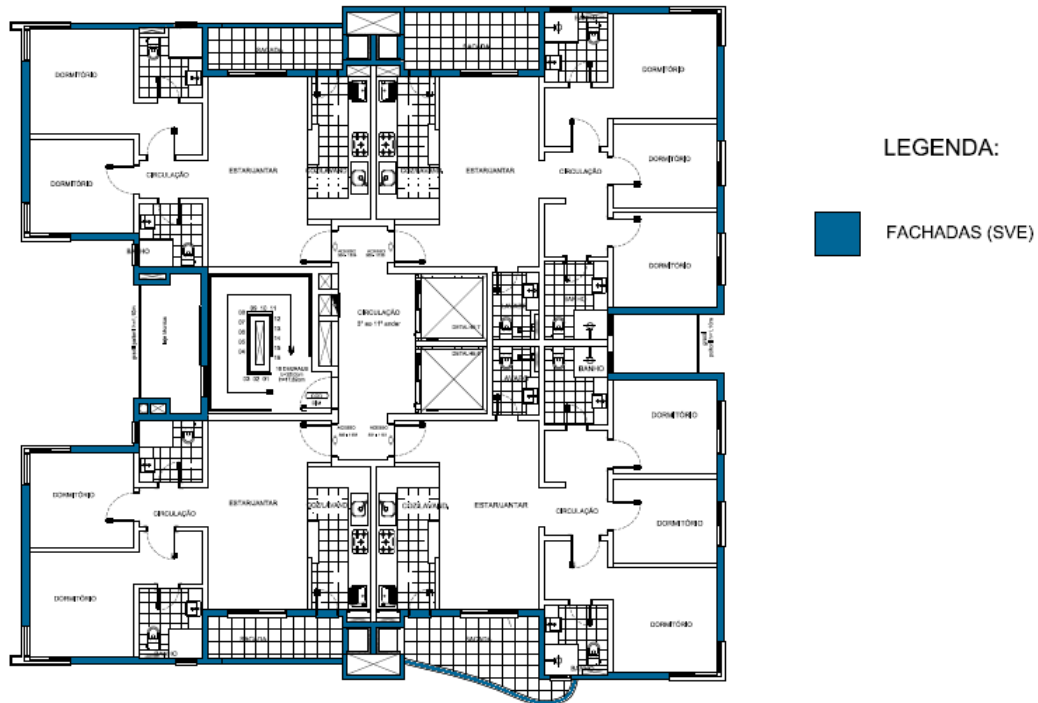
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.4.3 Estanqueidade

Esse critério tem análise com base nos resultados dos ensaios realizados de acordo com a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), conforme Anexo A, Tabela A.6. Levou-se em conta que a edificação em estudo é uma habitação com mais de um pavimento e que se localiza na região IV, conforme pode ser visualizado no Anexo C.

A avaliação de desempenho de estanqueidade é realizada com referência apenas aos sistemas de vedações externos, conforme se pode observar na Figura 12, que segue, de modo a verificar se se enquadram nos critérios de desempenho estabelecidos pela norma, ou atingem ao menos o nível mínimo de desempenho.

Figura 12 - Seleção dos SVVIE quanto à estanqueidade



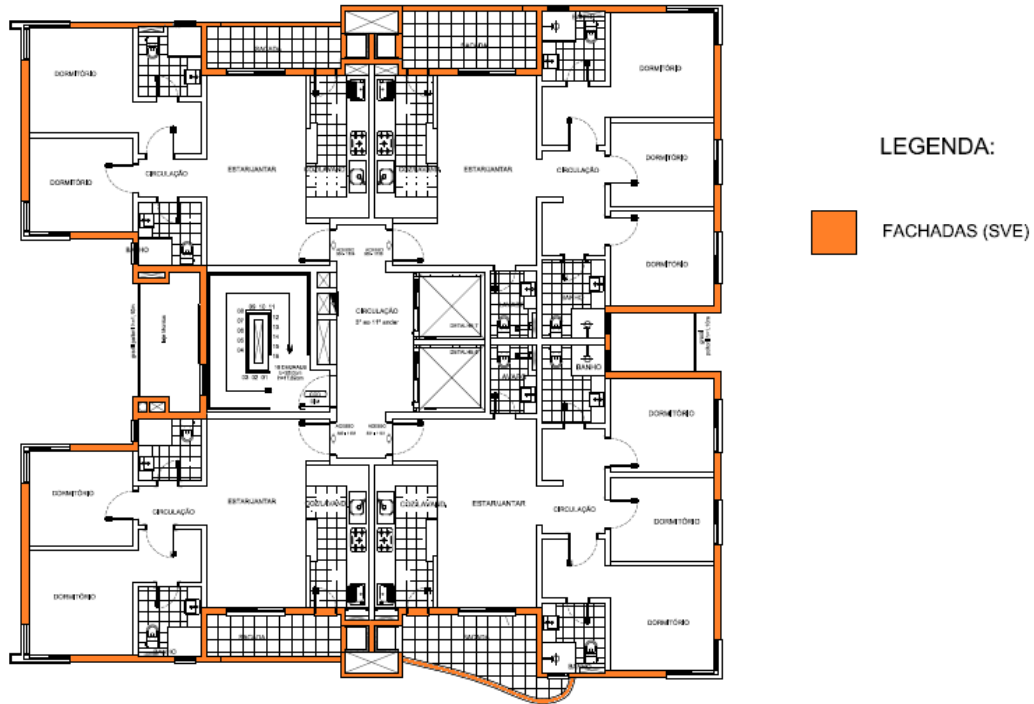
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.4.4 Desempenho térmico

A parametrização térmica, assim como a estanqueidade, é realizada somente para as alvenarias externas (fachadas), conforme mostra a Figura 13, que segue.

Neste estudo, essa parametrização é realizada de modo a contemplar a norma pelo método simplificado, levando em consideração resultados de ensaios que proporcionem pelo menos o desempenho térmico mínimo, para a zona bioclimática da edificação. Nesse caso, ela localiza-se entre as zonas 1 e 2, em que a transmitância térmica e a capacidade térmica devem ser calculadas de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Figura 13 - Seleção dos SVVIE quanto ao desempenho térmico



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.4.5 Desempenho acústico

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) estabelece que devem ser verificados o nível de isolamento acústico das alvenarias existentes entre o meio externo e o interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e as áreas comuns, e devem ter ao menos o nível de desempenho mínimo para ter aceitação de uso em edificações habitacionais. Esses parâmetros de classificação podem ser verificados nas Tabelas A.7 e A.8, no Anexo A. A primeira exibe dados para as vedações externas que, neste estudo, configura a edificação na “classe de ruído II”. Na segunda, os dados dizem respeito às vedações internas entre habitações e áreas comuns.

A normatização em relação ao desempenho acústico de edificações habitacionais expressa claramente que o principal ponto a ser considerado no isolamento sonoro são os dormitórios, tanto para alvenarias externas quanto internas.

Para sistemas de vedação internos, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) determina níveis de desempenho sempre em relação à outra unidade habitacional ou em relação às áreas comuns. No entanto, para as alvenarias internas da unidade em si, essa norma não estipula parâmetros para as divisórias entre ambientes de uma mesma moradia. Assim, tomando base o detalhamento expresso pela norma, que apresenta uma estimativa para inteligibilidade de 35 a 40 dB em relação ao ambiente adjacente, este trabalho propõe-se a tomar como base essas informações e a tabela de influência do isolamento sonoro disposto na mesma, reproduzida na Tabela 13, para definir um nível de desempenho para as alvenarias de vedação de uma mesma habitação, pois, embora a norma não estabeleça critérios definidos para ambientes compartilhados em uma mesma unidade, é indispensável uma definição apropriada dos SVI para estes recintos.

Tabela 13 - Influência do $D_{nT,w}$ sobre a inteligibilidade da fala, para ruído no ambiente interno em torno de 35 a 40 dB

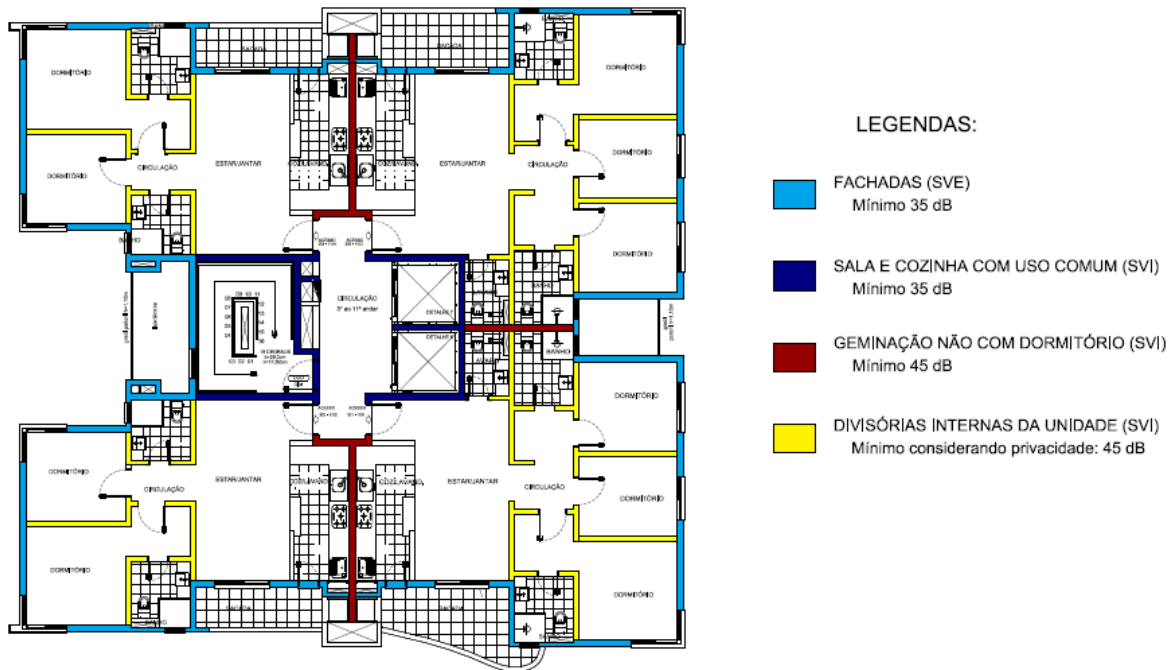
Inteligibilidade de fala alta no ambiente adjacente	Isolamento sonoro, $D_{nT,w}$ [dB]
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	50

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

A consideração em relação às vedações internas de uma mesma unidade habitacional é realizada de modo que as alvenarias tenham um isolamento acústico da ordem de 45 dB ou 50 dB, conforme relatórios dos SVVIE avaliados no estudo.

A seguir, na Figura 14, pode ser verificada a seleção dos SVVIE quanto aos critérios determinados pela norma.

Figura 14 - Seleção dos SVVIE quanto ao desempenho acústico



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

3.5 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Com a definição do concreto estrutural, das espessuras de alvenarias, da carga de blocos e argamassas necessárias, o dimensionamento estrutural pode ser realizado. Com o auxílio do *software*, buscaram-se sucessivos processamentos com vistas às mais reduzidas seções de todos elementos estruturais, pois, assim, tem-se uma otimização dos insumos e dos custos inerentes às estruturas, ainda preservando o impacto do uso dos materiais em relação ao meio ambiente.

O dimensionamento de estruturas é mensurado não apenas levando-se em consideração cargas, esforços e ações que a estrutura suporta. Essa análise é realizada, considerando a combinação dessas ações e forças. Além delas, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece mais variáveis a serem consideradas no projeto estrutural, como os estados-limites de serviço (ELS), relacionados ao conforto de uso, os estados-limites últimos (ELU), ligados ao colapso da edificação, imperfeições geométricas globais e locais, e a ponderação desses fatores junto às combinações de ações exigidas pela estrutura, que considera deslocamentos horizontais e

verticais limitados, conforme exigências normativas, assim como os efeitos de primeira e segunda ordens.

Com a análise estrutural realizada, são extraídos os relatórios com resumos de materiais para a execução das estruturas (concreto, aço e formas de madeira), para posterior comparação de quantitativos e custos.

3.6 ORÇAMENTO E CUSTOS

Os orçamentos e custos resultantes para comparação são levantados de modo em que se consideram somente custos diretos, e são divididos em dois grupos: estruturas e alvenarias.

Para o grupo relacionado às estruturas, que é composto pelas fundações e superestrutura, a comparação de resultados é feita comparando o volume de concreto (m^3), a área das formas (m^2) e a massa do aço (kg), de modo que, em ambos os casos, esses insumos tenham o mesmo valor monetário.

Para as alvenarias, consideram-se valores em relação à sua composição por metro quadrado, em que se tem os blocos, as argamassas de assentamento e reboco e a mão de obra necessária, cuja referência nas composições de custo desonerados para preço unitário é do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao mês de março de 2019, para a cidade de Porto Alegre, RS. Tais preços baseados nessa tabela podem ser verificados no Apêndice C. Essa busca de valores é realizada com base na tabela SINAPI, porque é uma fonte atualizada para referência de custos para o setor da construção, fornecida pela Caixa Econômica Federal, órgão responsável pela publicação mensal desse material de consulta (Decreto 7893/2013).

Já para obtenção de índices de produtividade na execução dos serviços, são tomados os índices expostos na 14.^a edição das Tabelas de Composição de Preços para Orçamento, para engenharia civil, construção e arquitetura (TCPO), publicado pela editora PINI.

3.7 LEVANTAMENTO DE DADOS PARA SISTEMAS DE VEDAÇÃO

Selecionados os blocos de cada tipo de material e a argamassa para o sistema de vedação de acordo com as exigências expressas pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), foi possível determinar as composições dos diferentes SVVIE. Para isso, apanhou-se os quantitativos em relação a cada material inerente às alvenarias, assim como os dados sobre a produtividade dos profissionais nos canteiros de obras. A partir daí, foi realizada a composição de valores por metro quadrado de cada SVVIE.

3.7.1 Alvenarias de blocos cerâmico

Os blocos cerâmicos fabricados pelas empresas anteriormente citadas, conforme laudos analisados, apresentaram padrão de desempenho muito similares, levando a uma mesma seleção de tipo e dimensão. Concluiu-se que o elemento que supre as necessidades em avaliação foi o bloco cerâmico de 14 cm de largura, 19 cm de altura e 29 cm de comprimento (14 x 19 x 29 cm), com resistência $F_{bk} \geq 7$ Mpa, e peso específico de 1300 kg/m³. A Tabela 14 mostra os revestimentos argamassados necessários para os requisitos dos SVVIE, analisados junto à NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), assim como o nível de desempenho obtido nos ensaios.

Tabela 14 - Espessuras de revestimentos argamassados e níveis de desempenho obtidos perante requisitos normativos

(Continua)

Requisito		Revestimento necessário		Nível de desempenho	
		Interno (cm)	Externo (cm)		
Desempenho estrutural		1	2	Superior ^a	
Segurança contra incêndio		2	2	240 CF ^b	
Estanqueidade		1	2	Superior ^c	
Desempenho térmico		1,5	2,5	U = 1,99 ^d	CT = 162 ^d
Desempenho acústico	SVI	2	3	45 dB [R _w] ^e	
	SVE	1	2	41 dB [R _w] ^f	

(Conclusão)

^a com base em relatório de ensaio n.º 1416/2016 (ITT Performance, 2016);^b com base em relatório de ensaio n.º 1799/2016 (ITT Performance, 2017);^c com base em relatório de ensaio n.º 1401/2016 (ITT Performance, 2016);^d com base em relatório de ensaio n.º 1697/2017 (ITT Performance, 2017);^e com base em relatório de ensaio n.º 1398/2016 (ITT Performance, 2016);^f com base em relatório de ensaio n.º 1274/2016 (ITT Performance, 2016).

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

Os dados obtidos viabilizaram a determinação das camadas de revestimentos de ambas as faces junto ao tipo de bloco selecionado para o uso nas alvenarias internas e externas da edificação. Elas foram definidas com base na compilação dos dados obtidos nos laudos referentes aos sistemas de vedação compostos por blocos cerâmicos, levando em consideração para composição, espessuras que abrangessem os níveis de desempenho exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Tabela 15 - Dimensionamento de camadas dos SVVIE

Sistema de Vedação Vertical	Revestimento interno (cm)	Bloco cerâmico (cm)	Revestimento externo (cm)
Externo	2 *	14 x 19 x 29	2 *
Interno	2 *	14 x 19 x 29	3 *

* com base na tabela 14.

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

A definição dos sistemas de vedação viabilizou a busca dos dados necessários junto às Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (TCPO) (PINI, 2012), para a composição por metro quadrado de alvenaria – em que foram considerados valores medianos – para o posterior levantamento de custos, conforme mostra a Tabela 16, a seguir.

Tabela 16 - Levantamento de dados para alvenaria de blocos cerâmicos

Itens	Quantidade
Consumo de blocos	17,5 blocos/m² *
Consumo de argamassa de assentamento	25,8 kg/m² *
Produtividade do profissional	0,71 Hh/m² *
Produtividade do auxiliar	0,43 Hh/m² *

* com base nas Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (PINI, 2012).

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

Os valores expostos na Tabela 16, acima, são relativos ao material e mão de obra para preparo da argamassa, marcação e execução da alvenaria de vedação.

Considerando-se que existe uma variação entre as diversas maneiras de produção dentro dos canteiros, as Tabelas de Composição (PINI, 2012), levam em conta uma perda de 5% para o consumo de blocos e de 20% para o consumo de argamassa de assentamento.

3.7.2 Alvenarias de Blocos de concreto

Conforme material pesquisado fornecido pela Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto (ABCP, 2018), foi possível analisar às diversas configurações de blocos de concreto e seus respectivos revestimentos, avaliando os critérios de desempenho para cada sistema de vedação.

Com base nessa análise, o elemento que promove o uso satisfatório junto às necessidades dos usuários da edificação é o bloco de concreto de 14 centímetros de largura, 19 centímetros de altura e 39 centímetros de comprimento (14 x 19 x 39 cm), com resistência $F_{bk} \geq 4,5$ MPa, e peso específico de 1400 kg/m³.

Na Tabela 17, a seguir, podem ser visualizados os revestimentos argamassados necessários para cada requisito dos SVVIE analisados à luz da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), assim como o nível de desempenho obtido nos ensaios.

Tabela 17- Espessuras de revestimentos argamassados e níveis de desempenho obtidos perante requisitos normativos

Requisito		Revestimento necessário		Nível de desempenho
		Interno (cm)	Externo (cm)	
Desempenho estrutural		0,5	2,5	Superior ^a
Segurança contra incêndio		2	2	180 CF ^a
Estanqueidade		0,5	2,5	Superior ^b
Desempenho térmico		1	2,5	U = 2,70 ^a CT = 194 ^a
Desempenho acústico	SVI	2	2	48 dB [R _w] ^e
	SVE	0,5	0,5	44 dB [R _w] ^f

^a com base no resumo das fichas de desempenho de paredes (ABCP, 2018) – anexo J;

^b com base na publicação Verificação da Resistência Mecânica à Tração de Revestimento do Tipo Monocamada Aplicada em Blocos de Concreto Submetido ao Ensaio de Estanqueidade à Água (IBRACON, 2017).

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

Os dados obtidos viabilizaram a determinação das camadas de revestimentos de ambas as faces junto ao tipo de bloco selecionado para o uso nas alvenarias internas e externas da edificação, sendo definidas com base na compilação dos dados obtidos nos laudos referentes aos sistemas de vedação compostos por blocos de concreto e, levando em consideração para composição, espessuras que abrangessem os níveis de desempenho exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Os laudos fornecidos pela Associação Brasileira da Indústria de Blocos de Concreto (ABCP, 2018), e verificados para obtenção de resultados, foram ensaiados nas paredes, nos casos em que a espessura de revestimento é de 0,5 cm, com argamassa de gesso. Como este trabalho tem foco em revestimentos com argamassa de cimento, o dimensionamento das camadas de revestimento foi realizado, substituindo o gesso por cimento com base na Tabela 1, da NBR 6120 (ABNT, 2000), que determina os pesos específicos dos materiais de construção. Nessa Tabela, há valores de 1250 kg/m³ para argamassa de gesso e 1900 kg/m³ para argamassa de cal, cimento e areia, ou seja, o material de substituição se mostra mais sólido devido ao seu peso

específico aparente maior. Visando a uma maior preservação quanto aos critérios de desempenho exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), o autor utiliza um revestimento com o dobro da espessura do material de revestimento ensaiado.

Tabela 18 - Dimensionamento de camadas dos SVVIE

Sistema de Vedação Vertical	Revestimento interno (cm)	Bloco de concreto (cm)	Revestimento externo (cm)
Externo	2 *	14 x 19 x 29	2,5 *
Interno	2 *	14 x 19 x 29	2 *

* com base na Tabela 17.

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

A definição dos sistemas de vedação viabilizou a busca dos dados necessários, junto a TCPO (PINI, 2012), para a composição por metro quadrado de alvenaria – em que foram considerados valores medianos – para o posterior levantamento de custos, conforme segue na Tabela 19.

Tabela 19 - Levantamento de dados para alvenaria de blocos de concreto

Itens	Quantidade
Consumo de blocos	13,5 blocos/m² *
Consumo de argamassa de assentamento	19,3 kg/m² *
Produtividade do profissional	0,71 Hh/m² *
Produtividade do auxiliar	0,43 Hh/m² *

* obtido com base nas Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (PINI, 2012).

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

Os valores expostos acima, na Tabela 19, são relativos ao material e mão de obra para preparo da argamassa, marcação e execução da alvenaria de vedação.

Considerando que existe uma variação entre as diversas maneiras de produção dentro dos canteiros, as TCPO (PINI, 2012), levam em conta uma perda de 3% para o consumo de blocos e de 20% para o consumo de argamassa de assentamento.

3.7.3 Alvenarias de blocos de concreto celular autoclavado

A análise quanto aos blocos de concreto celular autoclavado foi desenvolvida de modo similar a dos blocos cerâmicos, ou seja, foi feita com base em laudos de ensaios fornecidos pela empresa fabricante dos elementos, dados confirmados em fonte de pesquisa conjunta.

Entretanto, nessa escolha de tipo e dimensão, foram selecionados dois blocos distintos, pois, devido às diferentes características e aos níveis de desempenho do material de fabricação dos blocos, foi possível avaliar duas espessuras distintas para as alvenarias. Uma delas era para os sistemas externos e, a outra, para os sistemas internos. Ambos os blocos atenderam as exigências da NBR 15575-4 (ANBT, 2013b) para os respectivos SVVIE, e preservaram os custos do empreendimento.

Para as alvenarias externas, o elemento de concreto celular autoclavado em análise que atingiu o desempenho necessário foi o bloco de 12,5 centímetros de largura, 30 centímetros de altura e 60 centímetros de comprimento (12,5 x 30 x 60 cm), com resistência característica à compressão indeterminada, e peso específico de 550 kg/m³. Já para as vedações internas, a escolha que atendeu às exigências foi o bloco de 20 centímetros de largura, 30 centímetros de altura e 60 centímetros de comprimento (20 x 30 x 60 cm), com resistência $F_{bk} \geq 2,5$ MPa e peso específico de 800 kg/m³.

A seguir, na Tabela 20, podem ser visualizados os revestimentos argamassados necessários para cada requisito dos SVVIE analisados junto a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), assim como o nível de desempenho obtido nos ensaios em relação a ambos blocos selecionados.

Tabela 20 - Espessuras de revestimentos argamassados e níveis de desempenho obtidos perante requisitos normativos

Requisito	Largura do Bloco (cm)	Revestimento necessário		Nível de desempenho	
		Interno (cm)	Externo (cm)		
Desempenho estrutural	12,5	2,5	2,5	Intermediário ^a	
Segurança contra incêndio	12,5	0	0	240 CF ^b	
	15	0	2	360 CF ^c	
Estanqueidade	12,5	2,5	2,5	Superior ^d	
Desempenho térmico	12,5	2	2	U = 1,00 ^e	CT = 148 ^e
Desempenho acústico	12,5	2,5	2,5	34 dB [R _w] ^f	
	20	1,5	1,5	45 dB [R _w] ^g	

^a com base em relatório de ensaio n.º 0727/2015 (ITT Performance, 2015);

^b com base em relatório de ensaio n.º 0534/2014 (ITT Performance, 2014);

^c com base em relatório de ensaio n.º 0566/2014 (ITT Performance, 2014);

^d com base em relatório de ensaio n.º 0615/2016 (ITT Performance, 2014);

^e com base em relatório de avaliação de propriedades térmicas de paredes de alvenaria de vedação em blocos de concreto celular autoclavado (UFSC, 2015);

^f com base em relatório de ensaio n.º 0655/2015 (ITT Performance, 2015);

^g com base em relatório de ensaio n.º 1536/2016 (ITT Performance, 2014).

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

Os dados obtidos viabilizaram a determinação das camadas de revestimentos de ambas as faces junto ao tipo de bloco selecionado para o uso nas alvenarias internas e externas da edificação, e foram definidas com base na compilação dos dados obtidos nos laudos referentes aos sistemas de vedação compostos por BCCA, tendo em consideração para a composição, espessuras que abrangessem os níveis de desempenho exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

Tabela 21 - Dimensionamento de camadas dos sistemas de vedação externos

Sistema de Vedação Vertical	Revestimento interno (cm)	Bloco concreto celular autoclavado (cm)	Revestimento externo (cm)
Externo	2,5 *	12,5 x 30 x 60	2,5 *

* com base na Tabela 20.

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

Tabela 22 - Dimensionamento de camadas dos sistemas de vedação internos

Sistema de Vedação Vertical	Revestimento interno (cm)	Bloco concreto celular autoclavado (cm)	Revestimento externo (cm)
Interno	1,5 *	20 x 30 x 60	1,5 *

* com base na Tabela 20.

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

A definição dos sistemas de vedação viabilizou a busca dos dados necessários, junto a TCPO (PINI, 2012), para a composição por metro quadrado de alvenaria – em que foram considerados valores medianos – para o posterior levantamento de custos, conforme segue na Tabela 23. Somente houve diferenciação de consumo para a argamassa de assentamento dos blocos, em virtude das diferentes espessuras dos elementos.

Tabela 23 - Levantamento de dados para alvenaria de blocos de concreto celular autoclavado

Itens	Quantidade
Consumo de blocos	5,7 blocos/m² *
Consumo de argamassa de assentamento (e = 12,5 cm)	11,3 kg/m² *
Consumo de argamassa de assentamento (e = 20 cm)	18,1 kg/m² *
Produtividade do profissional	0,38 Hh/m² *
Produtividade do auxiliar	0,23 Hh/m² *

* obtido com base nas Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos (PINI, 2012).

Fonte: Adaptado pelo autor (2019).

Os valores expostos na Tabela 23 são relativos ao material e mão de obra para preparo da argamassa, marcação e execução da alvenaria de vedação.

Considerando que existe uma variação entre as diversas maneiras de produção dentro dos canteiros, as TCPO (PINI, 2012) levam em conta uma perda de 2% para o consumo de blocos e de 20% para o consumo de argamassa de assentamento.

3.7.3 Argamassa de revestimento para alvenarias

Como pôde ser verificado, as distintas opções de SVVIE dimensionados tem diferentes necessidades de revestimentos para atender aos requisitos especificados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), o que levou a buscar valores de consumo referentes a suas diferentes espessuras e usos.

A NBR 6120 (ABNT, 2000), determina, para argamassas compostas de cimento, cal e areia, um peso específico de 1900 kg/m³, tornando possível a verificação dos quantitativos das argamassas necessárias, conforme mostra a Tabela 24.

Tabela 24 - Argamassas para revestimento das alvenarias

Espessura da camada (cm)	Resultado obtido (kg/m²)
1	19
1,5	28,5
2	38
2,5	47,5
3	57

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A obtenção de resultados transcorreu após a determinação dos blocos, da argamassa necessária e da composição das alvenarias de vedação, conforme os níveis de desempenho determinados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

De posse das composições que cumprem os requisitos estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), realizou-se, por meio do *software* utilizado, a análise e dimensionamento das fundações e estruturas, possibilitando após o processamento a obtenção dos relatórios de resumo de materiais necessários, tornando viável a comparação entre custos inerentes a essa etapa da construção da edificação.

Por fim, foram comparados os diferentes custos relacionados às distintas modelagens das edificações e aos materiais analisados neste trabalho.

Após comparativos entre as distintas possíveis edificações, pôde-se realizar a averiguação de resultados.

4.1 ALTERNATIVAS PARA SISTEMA ESTRUTURAL

Para uma avaliação apurada quanto aos sistemas estruturais que compõem as edificações propostas – uma edificação com alvenarias de vedação constituída de blocos cerâmicos; uma edificação com blocos de concreto; uma edificação com blocos de concreto celular autoclavado; e uma última edificação conformada com SVI de blocos cerâmicos e SVE de blocos de concreto celular autoclavado, a qual foi denominada mista –, o autor extraiu, por intermédio do *software Eberick* utilizado para dimensionamento estrutural, os relatórios sobre os deslocamentos horizontais, as cargas nas fundações e o resumo de materiais necessários para a execução dos elementos inerentes à cada edificação.

4.1.1 Deslocamentos horizontais das edificações

Segundo o item 6.1 da NBR 6118 (ABNT, 2014), as estruturas de concreto devem ser projetadas de modo a manter sua segurança, sua estabilidade e sua aptidão perante às solicitações que sofrerá durante seu período de projeto. Assim

sendo, é fundamental que os deslocamentos que ocorrem em uma estrutura sejam limitados para garantir a qualidade da obra.

Ao avaliar-se mais diretamente os deslocamentos estruturais, na Tabela 13.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014), está definido que o movimento lateral de edifícios deve ser menor que " $H/1700$ ", sendo H a altura total da edificação que, nesse caso, é de 33,89 metros. Portanto, há um limite de deslocamento de 1,98.

Tabela 25 - Deslocamentos horizontais dos sistemas avaliados

Composição de Sistema estrutural	Direção X (cm)	Direção Y (cm)
Com bloco cerâmico	1,75	1,66
Com bloco de concreto	1,41	1,36
Com BCCA	1,73	1,73
Misto	1,82	1,79

Fonte: Relatório de deslocamentos horizontais do *software* Eberick.

Sendo necessário e estabelecido pela NBR 6118 (ABNT, 2014) que as edificações estejam dentro dos limites estipulados, pôde-se verificar que todas alternativas avaliadas têm deslocamentos abaixo dos limites determinados, mantendo a segurança e a estabilidade necessária perante as solicitações que a estrutura sofrerá durante sua vida útil.

4.1.2 Cargas verticais das edificações

As cargas verticais constituintes de edificações são um ponto importante a ser avaliado, visto que este trabalho visa a comparar SVVIE de pesos específicos variados e seu impacto no dimensionamento das fundações do empreendimento.

A NBR 6120 (ABNT, 2000), que define cargas de cálculo para estruturas de edificações, classifica as cargas em permanentes, que compõem os pesos dos elementos fixos e instalações permanentes; e cargas acidentais, que correspondem

as cargas de uso, cargas móveis e forças externas e variáveis que podem incidir sobre o imóvel e que foram expressas anteriormente, na Tabela 9, neste estudo.

O *software* utilizado para dimensionamento estrutural, caracteriza de forma similar as cargas. As cargas permanentes são classificadas em peso próprio, referindo-se apenas ao peso dos elementos estruturais, fazendo possível a verificação da carga deles em relação ao todo, e cargas adicionais, que consideram desde cargas de revestimento até cargas de parede e cargas extras, o que tem grande valia para este estudo, pois pode ser verificado de forma clara o peso total imposto pelos diferentes sistemas de vedação.

A seguir, é possível verificar na Tabela 26 as diferentes cargas que são impostas aos sistemas estruturais em análise.

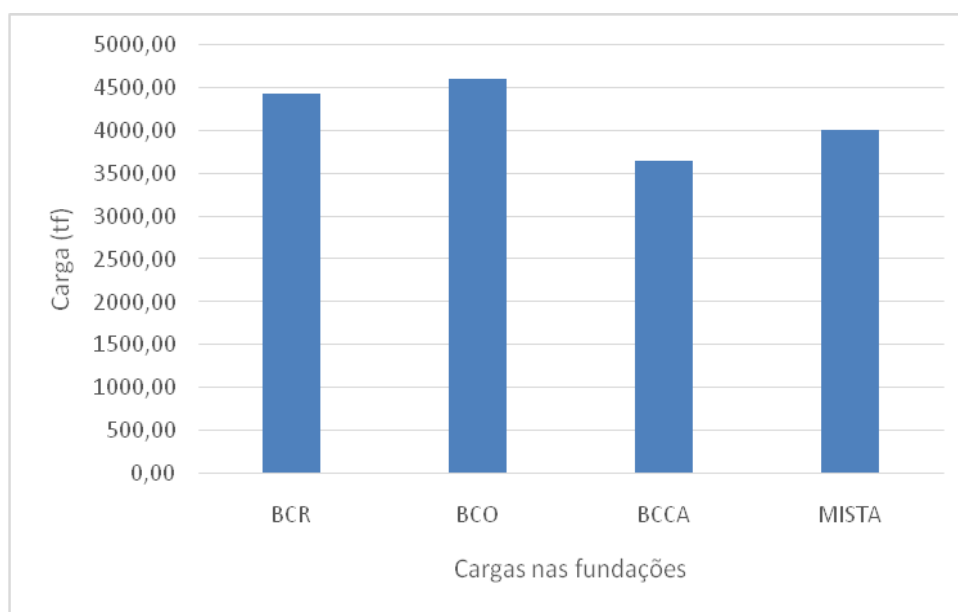
Tabela 26 - Cargas verticais dos sistemas avaliados impostas as fundações

Composição de Sistema estrutural	Peso próprio (tf)	Adicional (tf)	Acidental (tf)	Total (tf)
Com bloco cerâmico	1996,12	1726,71	717,40	4440,24
Com bloco de concreto	2002,53	1889,05	717,40	4608,98
Com BCCA	1952,12	981,32	717,39	3650,83
Misto	1980,52	1313,01	717,41	4010,94

Fonte: Relatório de cargas nas fundações do *software* Eberick.

O Gráfico 1, que segue, mostra de forma mais plausível as diferenças de carregamentos direcionados às fundações e que, portanto, impactam diretamente em seu dimensionamento e nos quantitativos de insumos, que podem ser verificados no item 4.1.3.

Gráfico 1 - Cargas nas fundações



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os diferentes dimensionamentos estruturais mostram coerência, quando avaliados os materiais de composição dos diferentes SVVIE, pois tem-se a menor carga adicional relacionada com a composição com BCCA, que é constituída por blocos com peso específico de 550 kg/m^3 e 800 kg/m^3 para as espessuras de 12,5 cm e 20 cm, respectivamente, e apresenta-se a maior carga adicional para as alvenarias conformadas com blocos de concreto, os quais, cujo peso específico é de 1400 kg/m^3 , são os mais pesados.

Ressalta-se, ao observar-se os dados obtidos, a diferença entre as cargas totais, que são impactadas em grande parte pela diferença das cargas adicionais, visto que o peso próprio das estruturas apresenta diferença, porém não tão gritante quanto as cargas anteriormente discutidas.

Ao serem observados os dados resultantes, ressalta-se a diferença entre as cartas totais, que são impactadas em grande parte pela diferença das cargas adicionais, uma vez que o peso próprio das estruturas apresenta diferença, porém não tão gritante quanto as cargas anteriormente discutidas. Já as cargas acidentais, impostas pelas forças variáveis que podem ocorrer na edificação, são praticamente iguais, pois o imóvel utilizado para efeito comparativo é o mesmo, ou seja, no mesmo local e com o mesmo tipo de ocupação.

Há, porém, um ponto a ser destacado. Quando se comparam os resultados sobre as cargas verticais das edificações com os resultados obtidos no item anterior (item 4.1.1), que se refere aos deslocamentos dos sistemas estruturais, verifica-se que a edificação composta de SVVIE de blocos de concreto é o empreendimento que apresentou maior carga a ser suportada pelas fundações, e também, é o empreendimento o que apresentou menores deslocamentos horizontais na edificação, evidenciando que, quanto maior a carga vertical, maior será a rigidez global da estrutura.

4.1.3 Materiais necessários para os diferentes sistemas estruturais

Como se verificou, diferentes são os deslocamentos e cargas impostos às edificações. Em vista disso, existe variação em relação ao consumo de materiais para a execução das estruturas moldadas *in loco*, as quais, como já considerado, suportarão os carregamentos durante a construção, uso e operação do empreendimento.

4.1.3.1 Dimensionamento estrutural com alvenarias de blocos cerâmico

Na Tabela 27, abaixo, expõe-se o resumo dos materiais necessários para as estruturas da edificação constituída por SVVIE de blocos cerâmicos e argamassas necessárias para contemplarem os requisitos exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Em seguida, pode-se observar na Tabela 28, o detalhamento dos tipos e bitolas de aço utilizados no sistema estrutural.

Tabela 27 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVVIE composta por blocos cerâmicos

(Continua)

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	20393.2	10880.6	8079.1	6323.3	45676.2
	CA60	3399.0	4140.5	9112.6	-	16652.2
	Total	23792.2	15021.2	17191.7	6323.3	62328.4

(Conclusão)

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Volume concreto (m ³)	C-25	-	-	-	172.1	172.1
	C-30	262.1	170.1	344.5	-	776.7
	Total	262.1	170.1	344.5	172.1	948.8
Área de forma (m ²)		3282.1	2247.1	3447.6	202,5	9179,2
Consumo de aço (kg/m ³)		90.8	88.3	49.9	36.7	65.7

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

Tabela 28 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6.3	178.1	-	5592.4	-	5770.5
CA50	8.0	4318.7	-	1393.1	-	5711.8
CA50	10.0	4310.2	7281.5	1093.5	-	12685.2
CA50	12.5	5683.4	1937.4	-	1630.8	9251.6
CA50	16.0	3738.2	954.6	-	4692.6	9385.4
CA50	20.0	2164.5	707.2	-	-	2871.8
CA60	5.0	3399.0	4140.5	9112.6	-	16652.2

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

O comparativo entre os consumos de materiais necessários para a execução dos distintos sistemas estruturais propostos, assim como a discussão sobre quantitativos obtidos, pode ser verificado no item 4.1.3.5, adiante neste trabalho.

4.1.3.2 Dimensionamento estrutural com alvenarias de blocos de concreto

A Tabela 29 mostra o resumo dos materiais necessários para as estruturas da edificação constituída por SVVIE de blocos de concreto e argamassas necessárias para contemplarem os requisitos exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Em seguida, a Tabela 30, detalha os tipos e bitolas de aço utilizados nesse sistema estrutural.

Tabela 29 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVVIE composta por blocos de concreto

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	20380.3	10932.2	8114.0	6543.4	45970.0
	CA60	3480.0	4120.4	8962.5	-	16562.9
	Total	23860.3	15052.6	17076.6	6543.4	62532.9
Volume concreto (m³)	C-25	-	-	-	178.0	178.0
	C-30	266.0	170.1	344.5	-	780.6
	Total	266.0	170.1	344.5	178.0	958.6
Área de forma (m²)		3283.7	3323.9	2247.1	3447.6	9222.9
Consumo de aço (kg/m³)		107.2	89.7	88.5	49.6	36.8

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

Tabela 30 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6.3	106.8	-	5213.1	-	5319.9
CA50	8.0	4548.6	-	2144.1	-	6692.6
CA50	10.0	4044.0	7134.6	756.9	-	11935.5
CA50	12.5	5748.1	2078.6	-	1618.1	9444.8
CA50	16.0	3828.8	816.3	-	4925.4	9570.4
CA50	20.0	2104.1	902.7	-	-	3006.8
CA60	5.0	3480.0	4120.4	8962.5	-	16562.9

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

A seguir neste trabalho, no item 4.1.3.5, pode ser verificado os comparativos e as argumentações sobre os consumos de materiais que se mostraram necessários para a execução dos distintos sistemas estruturais propostos.

4.1.3.3 Dimensionamento estrutural com alvenarias de blocos de concreto celular autoclavado

O resumo dos materiais necessários para as estruturas da edificação constituída por SVVIE de blocos de concreto e argamassas necessárias para contemplarem os requisitos exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013) pode ser verificado, na Tabela 31. Logo em seguida, pode-se observar na Tabela 32, o detalhamento dos tipos e bitolas de aço utilizados no sistema estrutural.

Tabela 31 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVVIE composta por blocos de concreto celular autoclavado

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	18909.5	9091.8	1886.7	5560.7	35448.8
	CA60	3333.6	3789.5	11353.4	-	18476.5
	Total	22243.1	12881.3	13240.1	5560.7	53925.3
Volume concreto (m³)	C-25	-	-	-	147.3	147.3
	C-30	257.4	159.5	341.6	-	758.5
	Total	257.4	159.5	341.6	147.3	905.8
Área de forma (m²)		3183.7	3161.3	2140.5	3444.8	8938.9
Consumo de aço (kg/m³)		89.6	86.4	80.8	38.8	37.7

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

Tabela 32 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6.3	48.5	-	1356.2	-	1404.7
CA50	8.0	4296.9	-	503.9	-	4800.8
CA50	10.0	4450.1	6875.6	26.7	-	11352.3
CA50	12.5	5050.9	1423.3	-	2220.4	8694.6
CA50	16.0	2847.1	565.9	-	3340.3	6753.4
CA50	20.0	2216.0	227.1	-	-	2443.0
CA60	5.0	3333.6	3789.5	11353.4	-	18476.5

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

No item 4.1.3.5, a seguir neste trabalho, pode ser verificado o comparativo entre os consumos de materiais que são necessários para a execução dos distintos sistemas estruturais propostos, assim como a discussão sobre os mesmos.

4.1.3.4 Dimensionamento estrutural com alvenarias internas de blocos cerâmico e alvenarias externas de blocos de concreto celular autoclavado

Na Tabela 33, a seguir, pode ser observado o resumo dos materiais necessários para as estruturas da edificação constituída por SVI de blocos cerâmicos e SVE edificado com BCCA. Em seguida, pode-se observar na Tabela 34, o detalhamento dos tipos e bitolas de aço utilizados neste sistema estrutural.

Tabela 33 - Resumo dos materiais necessários para estrutura carregada com SVI composta por blocos cerâmico e SVE de concreto celular autoclavado

		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	19769.1	10102.0	6632.7	5987.6	42491.4
	CA60	3369.7	3963.8	8482.5	-	15816.0
	Total	23138.8	14065.8	15115.2	5987.6	58307.3
Volume concreto (m³)	C-25	-	-	-	159.4	159.4
	C-30	260.3	165.1	344.5	-	769.9
	Total	260.3	165.1	344.5	159.4	929.3
Área de forma (m²)		3277.7	3265.4	2197.1	3446.9	9111.0
Consumo de aço (kg/m³)		104.4	88.9	85.2	43.9	37.6

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

Tabela 34 - Detalhamento por tipo e diâmetro de aços utilizados

(Continua)

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	6.3	113.2	-	4503.8	-	4617.1
CA50	8.0	4295.8	-	1318.9	-	5614.7
CA50	10.0	3996.3	7069.1	810.0	-	11875.4
CA50	12.5	5726.2	1702.5	-	2076.5	9505.3

(Conclusão)

Aço	Diâmetro (mm)	Peso + 10 % (kg)				
		Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Total
CA50	16.0	3478.6	1055.8	-	3911.0	8445.5
CA50	20.0	2158.9	274.5	-	-	2433.4
CA60	5.0	3369.7	3963.8	8482.5	-	15816.0

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

Os consumos totais de materiais necessários para a execução dos distintos sistemas estruturais propostos, seus comparativos e discussão destes, pode ser observado no item 4.1.3.5, a seguir.

4.1.3.5 Comparativo entre consumos totais de materiais necessários pelos distintos sistemas estruturais

Este item intenciona direcionar a comparação de forma facilitada entre os consumos totais dos materiais necessários levantados anteriormente, e que estão disponíveis na Tabela 35.

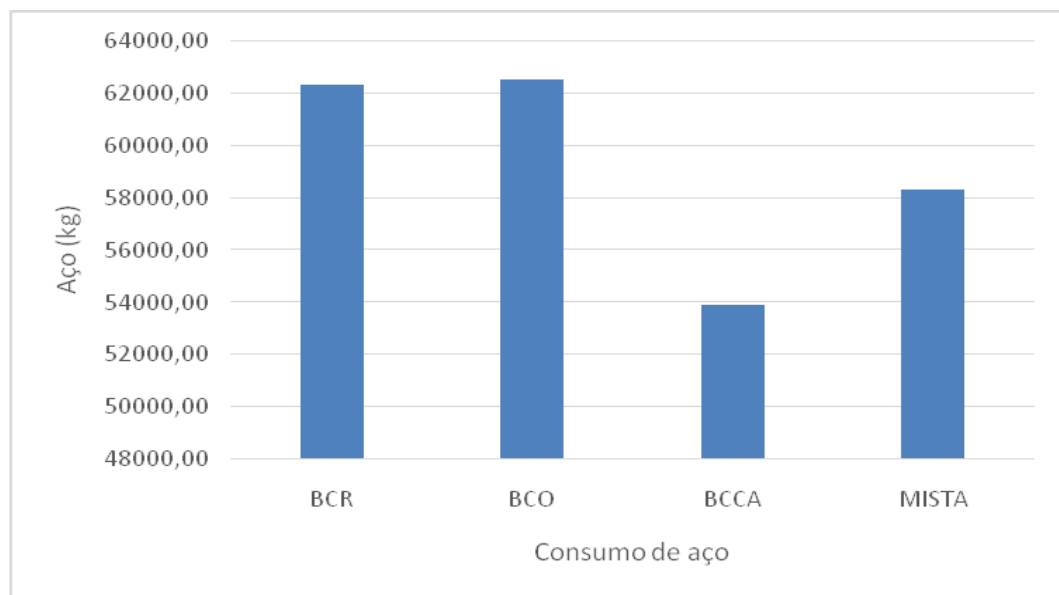
Tabela 35 - Comparativo entre consumos totais de insumos nos distintos sistemas estruturais avaliados

Insumos	Composição de sistemas estruturais			
	Blocos cerâmicos	Blocos de concreto	BCCA	Misto
CA50	45676.2	45970.0	35448.8	42491.4
CA60	16652.2	16562.9	18476.5	15816.0
Total (Aço)	62328.4	62532.9	53925.3	58307.3
C-25	172.1	178.0	147.3	159.4
C-30	776.7	780.6	758.5	769.9
Total (Concreto)	948.8	958.6	905.8	929.3
Área de forma (m ²)	9179,2	9222.9	8938.9	9111.0

Fonte: Relatório de materiais do *software* Eberick.

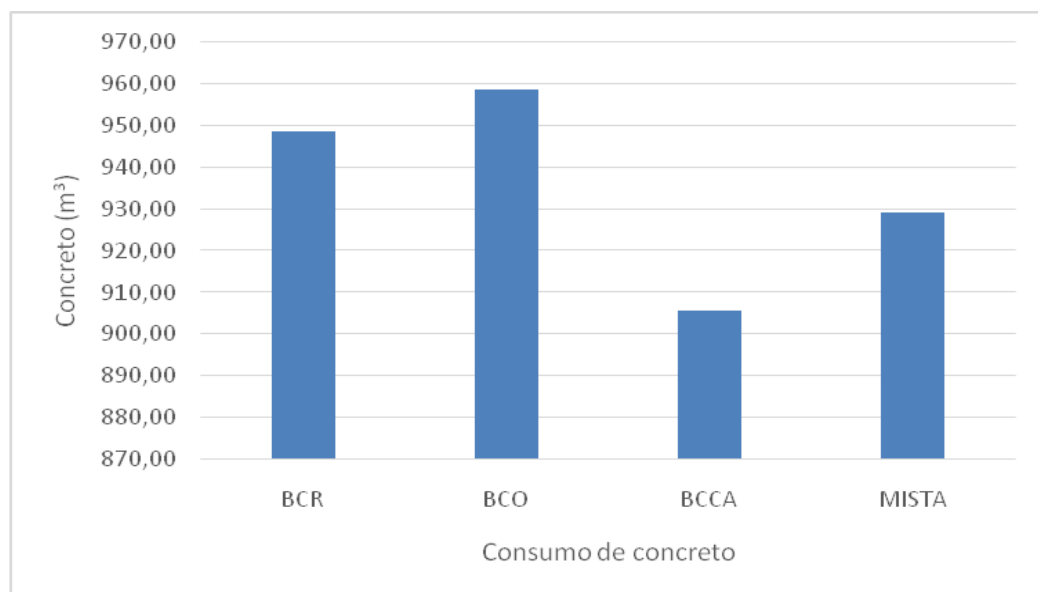
Com o objetivo de explicar melhor as relações totais obtidas, os resultados comparados podem ser observados com maior clareza nos Gráficos 2, 3, e 4 a seguir, que comparam respectivamente o consumo de aço, o consumo de concreto e a área total de formas para as composições estruturais propostas nesta pesquisa.

Gráfico 2 - Consumo de aço



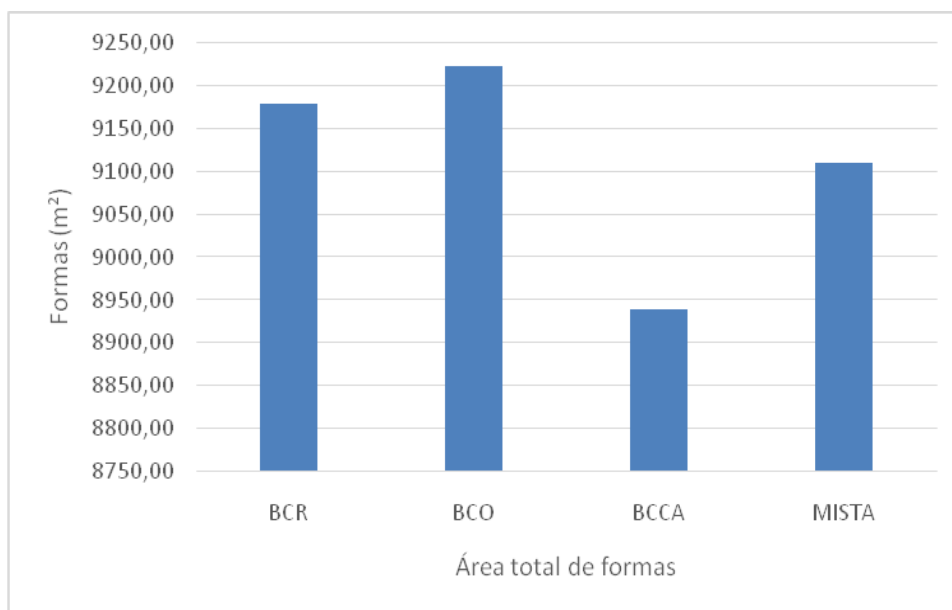
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 3 - Consumo de concreto



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 4 - Área total de formas



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os gráficos apresentados, após à Tabela 35, demonstram que existe maior necessidade de consumo para as edificações feitas com SVVIE compostas por blocos cerâmicos e blocos de concreto, sendo este último o que tem quantitativos majorados em todos pontos avaliados. A edificação composta de BCCA destacou-se por apresentar menor consumo em todas avaliações levantadas.

Esse comparativo mostra concordância com os resultados obtidos no item 4.1.2, que trata cargas verticais, demonstrando que uma carga maior gera, portanto, um consumo maior de insumos para os sistemas estruturais.

4.2 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Esta etapa foi elaborada de modo que, primeiramente foram relacionados os insumos e custos por metro quadrado (m²) para cada composição de sistema de vedação; posteriormente, definiu-se o custo total dos SVI e SVE por pavimento.

Na sequência, foram determinados os insumos – com auxílio dos relatórios fornecidos pelo *software* – e custos de cada um dos sistemas estruturais dimensionados. Por fim, foram mensurados o custo totais do empreendimento, considerando-se as distintas combinações, para posterior comparação de sistemas construtivos.

4.2.1 Edificação com SVVIE de blocos cerâmicos

O levantamento de custos constitui em primeiramente relacionar os custos unitários para o sistema vertical avaliado – Tabela 36 – e, após, definir o preço por metro quadrado (m²) para as alvenarias internas e externas constituídas de blocos cerâmico – Tabela 37.

Tabela 36 - Relação de insumos e custos por metro quadrado

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (m ²)	Custo total (R\$ / m ²)
Bloco Cerâmico (14 x 19 x 29 cm)	unidade	1,41	17,50	24,68
Argamassa de assentamento	kg	0,38	25,80	9,80
Argamassa de revestimento (e = 2 cm)	kg	0,38	38,00	14,44
Argamassa de revestimento (e = 3 cm)	kg	0,38	57,00	21,66
Profissional	hora	13,10	0,71	9,30
Auxiliar	hora	9,99	0,43	4,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 37 - Custos unitários por m² de alvenaria

Sistema vertical	Revest. interno	Bloco selecionado	Argamassa assentamento	Revest. externo	Mão de obra	Custo total (R\$ / m ²)
Interno	14,44	24,68	9,80	21,66	13,60	84,18
Externo	14,44	24,68	9,80	14,44	13,60	76,96

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

De posse dos valores por metro quadrado dos sistemas avaliados, realiza-se sua multiplicação pelo quantitativo de cada tipo de alvenaria, sendo 394,42 m² de paredes internas, e 258,70 m² de alvenarias de fachada. Com o valor relativo para cada pavimento, é realizado o produto pelos onze pavimentos da edificação, conforme expõe a Tabela 38, a seguir.

Tabela 38 - Custos totais para as alvenarias da edificação

Sistema de vedação	Custo / m² (R\$)	Custo / pavimento (R\$)	Custo total (R\$)
Interno	84,18	33.202,28	365.225,03
Externo	76,96	19.909,55	219.005,07

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Para que seja possível a contabilização dos custos referentes ao sistema estrutural proposto neste caso, é necessário o levantamento de dados em relação aos insumos necessários para a execução das estruturas, conforme Tabela 39.

Tabela 39 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (R\$)	Custo total (R\$ / unid.)
Aço CA50 (6,3 mm)	kg	4,93	4.583,50	22.000,80
Aço CA50 (8,0 mm)	kg	5,53	1.046,40	5.640,10
Aço CA50 (10,0 mm)	kg	4,71	17.216,00	78.849,28
Aço CA50 (12,5 mm)	kg	4,48	10.613,40	46.274,42
Aço CA50 (16,0 mm)	kg	4,48	12.970,60	56.551,82
Aço CA50 (20,0 mm)	kg	4,19	4.113,00	16.739,91
Aço CA60 (5,0 mm)	kg	4,67	16.408,70	74.495,50
Concreto usinado C-25 (com bombeamento)	m ³	337,12	245,10	80.201,62
Concreto usinado C-30 (com bombeamento)	m ³	348,47	798,90	270.211,95
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto (e = 20 mm)	m ²	90,98	952,63	86.670,07

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O levantamento de materiais de custos em relação ao dimensionamento estrutural possibilitou a obtenção não só do custo total das estruturas, como também os custos totais para os distintos SVVIE, o que pode ser observado na Tabela 40.

Na totalização dessa Tabela, pode-se constatar o custo total dos sistemas construtivos avaliados.

Tabela 40 - Custos totais para composição de SVVIE com bloco cerâmico

Custo total SVVIE Bloco Cerâmico	
Sistema Vertical Interno	365.225,03
Sistema Vertical Externo	219.005,07
Sistema Estrutural	737.635,68
Total	1.321.865,78

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.2 Edificação com SVVIE de blocos de concreto

A avaliação de custos constitui em primeiramente relacionar os custos unitários para o sistema vertical avaliado – Tabela 41 – e, após, definir o preço por metro quadrado (m²) para as alvenarias internas e externas constituídas de blocos cerâmico – Tabela 42, adiante.

Tabela 41 - Relação de insumos e custos por metro quadrado

(Continua)

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (m²)	Custo total (R\$ / m²)
Bloco de Concreto (14 x 19 x 39 cm)	unidade	2,62	13,50	35,50
Argamassa de assentamento	kg	0,38	19,30	7,34
Argamassa de revestimento (e = 2 cm)	kg	0,38	38,00	14,44

(Conclusão)

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (m ²)	Custo total (R\$ / m ²)
Argamassa de revestimento (e = 2,5 cm)	kg	0,38	47,50	18,05
Profissional	hora	13,10	0,71	9,30
Auxiliar	hora	9,99	0,43	4,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 42 - Custos unitários por m² de alvenaria

Sistema vertical	Revest. interno	Bloco selecionado	Argamassa assentamento	Revest. externo	Mão de obra	Custo total (R\$ / m ²)
Interno	14,44	35,50	7,34	14,44	13,60	85,32
Externo	14,44	35,50	7,34	18,05	13,60	88,93

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O custo por metro quadrado dos sistemas avaliados torna possível sua multiplicação pelo quantitativo de cada tipo de alvenaria, sendo 394,42 m² de paredes internas e 258,70 m² de alvenarias de fachada. Com o valor relativo de cada pavimento, é realizado o produto pelos onze pavimentos da edificação, conforme expõe a Tabela 43.

Tabela 43 - Custos totais para as alvenarias da edificação

Sistema de vedação	Custo / m ² (R\$)	Custo / pavimento (R\$)	Custo total (R\$)
Interno	85,32	33.651,91	370.171,06
Externo	88,93	23.006,19	253.068,10

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para que seja possível a contabilização dos custos referentes ao sistema estrutural proposto neste caso, é necessário o levantamento de dados em relação aos insumos necessários para a execução das estruturas, conforme Tabela 44, que segue.

Tabela 44 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (R\$)	Custo total (R\$ / unid.)
Aço CA50 (6,3 mm)	kg	4,93	4.507,00	21.633,60
Aço CA50 (8,0 mm)	kg	5,53	5.071,20	27.333,77
Aço CA50 (10,0 mm)	kg	4,71	13.612,90	62.347,08
Aço CA50 (12,5 mm)	kg	4,48	10.444,10	45.536,28
Aço CA50 (16,0 mm)	kg	4,48	12.823,60	55.910,90
Aço CA50 (20,0 mm)	kg	4,19	3.574,60	14.548,62
Aço CA60 (5,0 mm)	kg	4,67	16.472,60	74.785,60
Concreto usinado C-25 (com bombeamento)	m ³	337,12	252,80	82.721,22
Concreto usinado C-30 (com bombeamento)	m ³	348,47	798,90	270.211,95
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto (e = 20 mm)	m ²	90,98	952,90	86.694,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

As relações obtidas junto ao dimensionamento do esqueleto estrutural possibilitaram calcular não somente o custo total do sistema de estruturas, mas também os custos totais para as distintas alvenarias de vedação vertical. Esses dados estão disponíveis na Tabela 45 abaixo, assim como o custo total dos sistemas construtivos avaliados.

Tabela 45 - Custos totais para composição de SVVIE com bloco de concreto

Custo total SVVIE Bloco Concreto	
Sistema Vertical Interno	370.171,06
Sistema Vertical Externo	253.068,10
Sistema Estrutural	741.723,86
Total	1.364.963,02

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.3 Edificação com SVVIE de blocos de concreto celular autoclavado

O levantamento de custos constitui em relacionar primeiramente os custos unitários para o sistema vertical avaliado – Tabela 46 – e, após, definir o preço por metro quadrado (m²) para as alvenarias internas e externas constituídas de blocos cerâmico – Tabela 47.

Tabela 46 - Relação de insumos e custos por metro quadrado

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (m ²)	Custo total (R\$ / m ²)
Bloco Concreto celular autoclavado (12,5 x 30 x 60 cm)	unidade	14,23	5,70	79,52
Bloco Concreto celular autoclavado (20 x 30 x 60 cm)	unidade	21,99	5,70	125,39
Argamassa de assentamento	kg	0,38	15,67	5,96
Argamassa de revestimento (e = 1,5 cm)	kg	0,38	28,50	11,83
Argamassa de revestimento (e = 2,5 cm)	kg	0,38	47,50	18,05
Profissional	hora	13,10	0,38	4,98
Auxiliar	hora	9,99	0,23	2,23

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 47 - Custos unitários por m² de alvenaria

Sistema vertical	Revest. interno	Bloco selecionado	Argamassa assentamento	Revest. externo	Mão de obra	Custo total (R\$ / m ²)
Interno	11,83	125,39	5,96	11,83	7,21	162,22
Externo	18,05	79,52	5,96	18,05	7,21	128,79

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Com posse dos valores por metro quadrado dos sistemas avaliados, sua multiplicação pelo quantitativo de cada tipo de alvenaria torna-se possível, sendo que 394,42 m² se referem as paredes internas, e 258,70 m² totalizam as alvenarias de fachada. Com o valor relativo a cada pavimento, é realizado o produto pelos onze pavimentos da edificação, conforme expõe a Tabela 48, a seguir.

Tabela 48 - Custos totais para as alvenarias da edificação

Sistema de vedação	Custo / m² (R\$)	Custo / pavimento (R\$)	Custo total (R\$)
Interno	162,22	63.982,81	703.810,94
Externo	128,79	33.317,97	366.497,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para que seja possível a contabilização dos custos referentes ao sistema estrutural proposto neste caso, é essencial o levantamento de dados em relação aos insumos necessários para a execução das estruturas, conforme Tabela 49.

Tabela 49 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (R\$)	Custo total (R\$ / unid.)
Aço CA50 (6,3 mm)	kg	4,93	2.181,70	10.472,16
Aço CA50 (8,0 mm)	kg	5,53	4.722,50	25.454,28
Aço CA50 (10,0 mm)	kg	4,71	12.112,50	55.475,25
Aço CA50 (12,5 mm)	kg	4,48	9.454,30	41.220,75
Aço CA50 (16,0 mm)	kg	4,48	9.345,60	40.746,82
Aço CA50 (20,0 mm)	kg	4,19	1.383,70	5.631,66
Aço CA60 (5,0 mm)	kg	4,67	17.257,40	78.348,60
Concreto usinado C-25 (com bombeamento)	m ³	337,12	210,70	68.945,25
Concreto usinado C-30 (com bombeamento)	m ³	348,47	795,60	269.095,79
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto (e = 20 mm)	m ²	90,98	952,30	86.670,28

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A relação de materiais e custos das estruturas necessárias para a edificação possibilitou não apenas a obtenção do custo total do sistema estrutural, mas também os custos totais para as distintas alvenarias de vedação vertical, assim

como o custo total dos sistemas construtivos avaliados. Esses dados estão disponíveis na Tabela 50.

Tabela 50 - Custos totais para composição de SVVIE com bloco de concreto celular autoclavado

Custo total SVVIE Bloco Concreto celular autoclavado	
Sistema Vertical Interno	703.810,94
Sistema Vertical Externo	366.497,70
Sistema Estrutural	682.060,84
Total	1.752.369,48

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.2.4 Edificação mista de SVI de blocos cerâmico e SVE de blocos de concreto celular autoclavado

O levantamento de custos constitui em relacionar primeiramente os custos unitários para o sistema vertical avaliado – Tabela 51 – e, após, definir o preço por metro quadrado (m²) para as alvenarias internas constituídas de blocos cerâmico e para as alvenarias externas conformadas de concreto celular autoclavado – Tabela 52.

Tabela 51 - Relação de insumos e custos por metro quadrado

(Continua)

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (m²)	Custo total (R\$ / m²)
Bloco Concreto celular autoclavado (12,5 x 30 x 60 cm)	unidade	14,23	5,70	79,52
Bloco Cerâmico (14 x 19 x 29 cm)	unidade	1,41	17,50	24,68
Argamassa de assentamento (Cerâmico)	kg	0,38	25,80	9,80
Argamassa de assentamento (CCA)	kg	0,38	15,67	5,96
Argamassa de revestimento (e = 1,5 cm)	kg	0,38	28,50	11,83
Argamassa de revestimento (e = 2 cm)	kg	0,38	38,00	14,44

(Conclusão)

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (m ²)	Custo total (R\$ / m ²)
Argamassa de revestimento (e = 2,5 cm)	kg	0,38	47,50	18,05
Argamassa de revestimento (e = 3 cm)	kg	0,38	57,00	21,66
Profissional e Auxiliar para execução de SVI de bloco CCA	hora	7,21	1,00	7,21
Profissional e Auxiliar para execução de SVI de bloco Cerâmico	hora	13,60	1,00	13,60

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Tabela 52 - Custos unitários por m² de alvenaria

Sistema vertical	Revest. interno	Bloco selecionado	Argamassa assentamento	Revest. externo	Mão de obra	Custo total (R\$ / m ²)
Interno	14,44	24,68	9,80	21,66	13,60	84,18
Externo	18,05	79,52	5,96	18,05	7,21	128,79

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A quantificação de valores por metro quadrado dos sistemas avaliados, torna possível a realização da sua multiplicação pelo quantitativo de cada tipo de alvenaria, sendo 394,42 m² de sistemas de vedação internos, e 258,70 m² de alvenarias de vedação externas. Com o valor relativo a cada pavimento, é realizado o produto pelos onze pavimentos da edificação.

Tabela 53 - Custos totais para as alvenarias da edificação

Sistema de vedação	Custo / m ² (R\$)	Custo / pavimento (R\$)	Custo total (R\$)
Interno	84,18	33.202,28	365.225,03
Externo	128,79	33.317,97	366.497,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para que seja possível a contabilização dos custos referentes ao sistema estrutural proposto neste caso, é essencial o levantamento de dados em relação aos insumos necessários para a execução das estruturas, conforme Tabela 54, a seguir.

Tabela 54 - Relação de materiais e custos do sistema estrutural

Insumo	Unidade de medida	Custo unitário (R\$)	Consumo (R\$)	Custo total (R\$ / unid.)
Aço CA50 (6,3 mm)	kg	4,93	4.677,80	22.453,44
Aço CA50 (8,0 mm)	kg	5,53	4.912,80	26.479,99
Aço CA50 (10,0 mm)	kg	4,71	13.817,90	63.285,98
Aço CA50 (12,5 mm)	kg	4,48	9.798,80	42.722,77
Aço CA50 (16,0 mm)	kg	4,48	10.704,40	46.671,18
Aço CA50 (20,0 mm)	kg	4,19	3.725,40	15.162,38
Aço CA60 (5,0 mm)	kg	4,67	16.372,60	74.331,60
Concreto usinado C-25 (com bombeamento)	m ³	337,12	225,90	73.919,00
Concreto usinado C-30 (com bombeamento)	m ³	348,47	789,80	267.134,05
Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto (e = 20 mm)	m ²	90,98	941,96	85.699,52

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A relação de materiais e custos das estruturas de concreto armado, possibilitou não apenas o cálculo do custo total do sistema estrutural, mas igualmente os custos totais para as distintas alvenarias de vedação vertical, assim como o custo total dos sistemas construtivos avaliados. Esses dados podem ser conferidos na Tabela 55.

Tabela 55 - Custos totais para composição de SVI com bloco cerâmico e SVE com bloco de concreto celular autoclavado

Custo total SVVIE Misto	
Sistema Vertical Interno	365.225,03
Sistema Vertical Externo	366.497,70
Sistema Estrutural	717.859,91
Total	1.449.582,65

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE CUSTOS TOTAIS

Com objetivo de comparar os valores totais de cada edificação proposta, a Tabela 56 traz de maneira conjunta, os valores de custo total referente a cada edificação avaliada neste trabalho.

Tabela 56 - Comparativo entre as edificações propostas

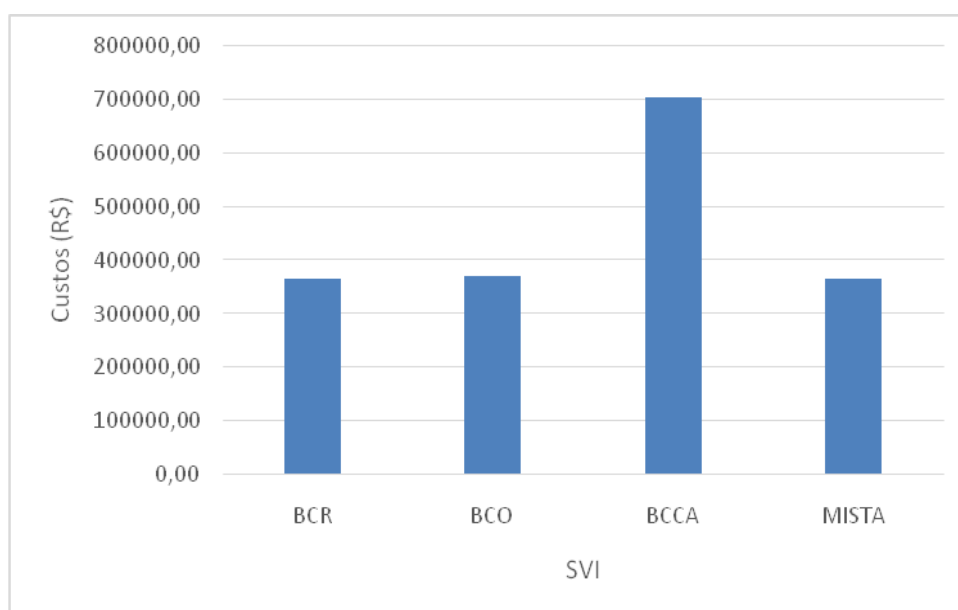
Custos totais referentes às edificações propostas	
SVVIE de Blocos Cerâmico	1.321.865,78
SVVIE de Blocos de concreto	1.364.963,02
SVVIE de Blocos CCA	1.752.369,48
Misto de SVI de Blocos cerâmico e SVE de Blocos CCA	1.449.582,65

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para melhor visualização e comparação entre os custos finais obtidos nesta pesquisa, elaboraram-se alguns gráficos demonstrativos que serão exibidos na sequência.

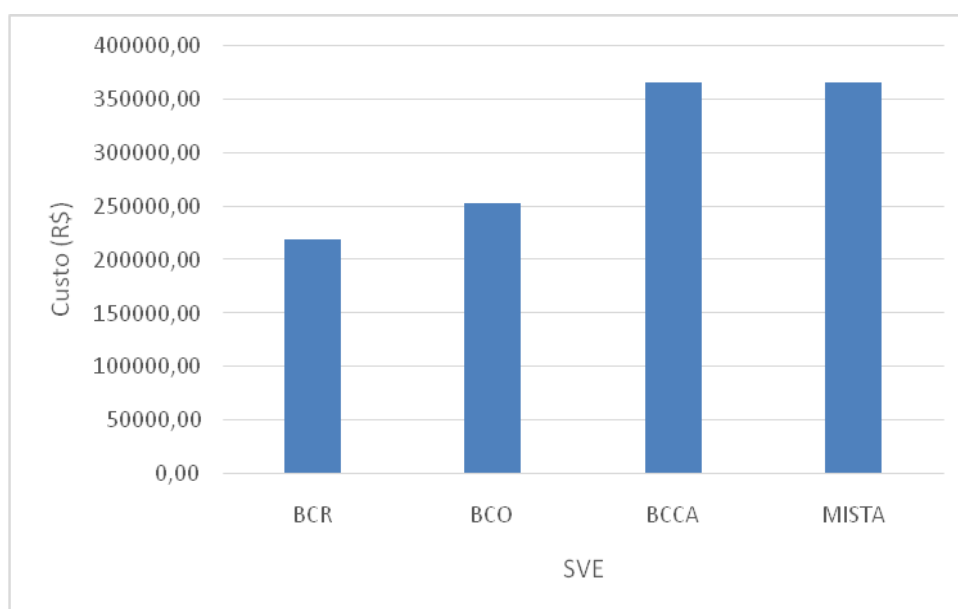
O Gráfico 5 apresenta o comparativo de custos entre os sistemas de vedações internas. O Gráfico 6, por sua vez, mostra o comparativo de custos dos sistemas de vedações externas. Já o Gráfico 7 exibe o comparativo de custos entre os sistemas de estruturas e, por fim, o Gráfico 8 expõe o comparativo de custos totais entre as quatro edificações propostas ao longo deste trabalho.

Gráfico 5 - Comparativo de custos dos sistemas de vedações internas



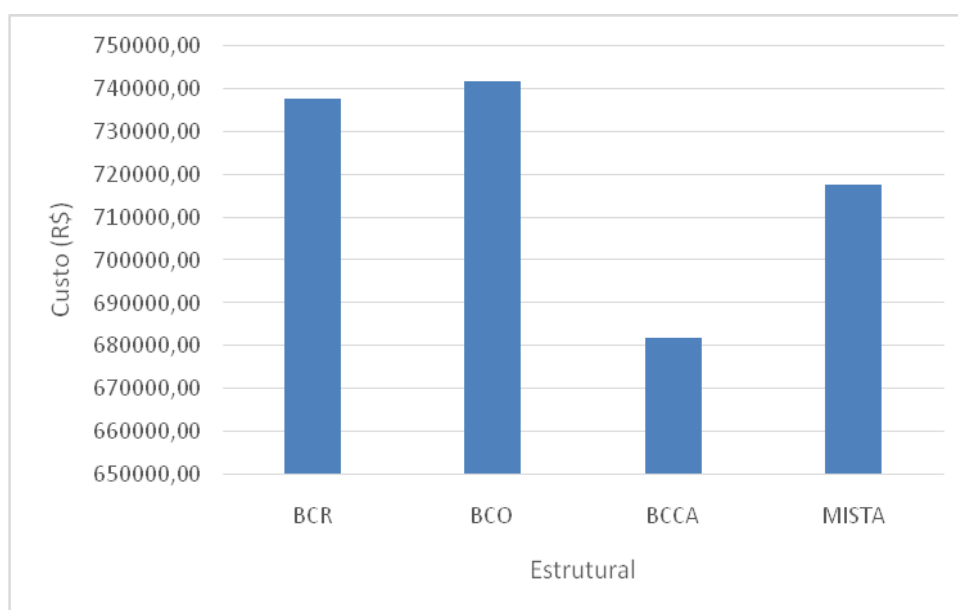
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 6 - Comparativo de custos dos sistemas de vedações externas



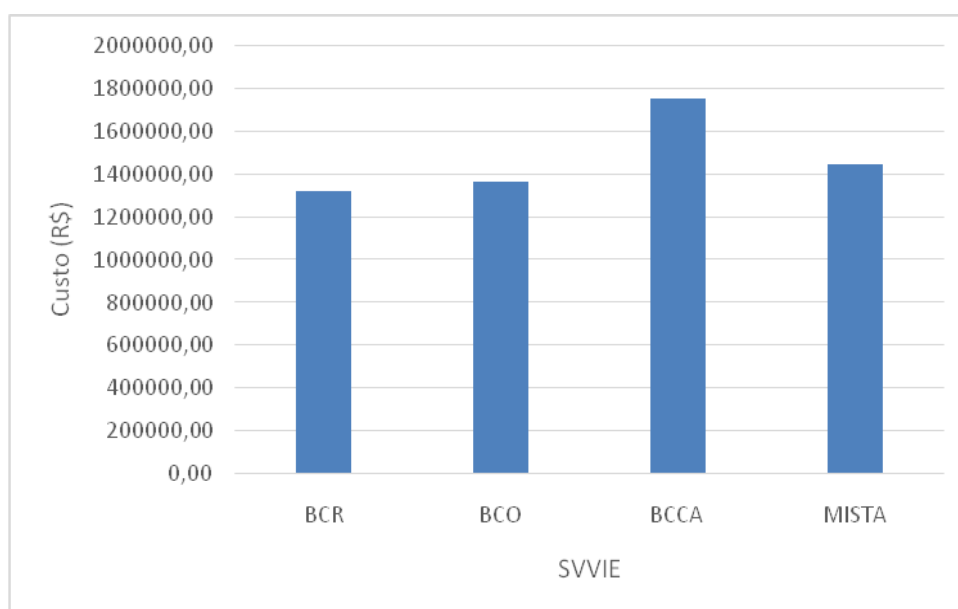
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 7 - Comparativo de custos dos sistemas de estruturais



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Gráfico 8 - Comparativo de custos totais



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

A tabela e os gráficos apresentados neste item, referentes à comparação entre os custos totais, deixam bem claro que a edificação proposta inteiramente com SVVIE com blocos cerâmicos é o empreendimento de menor custo atendendo aos

requisitos estabelecidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), tendo com valor final de R\$ 1.321.865,78. Em segundo lugar aparece a edificação constituída de SVVIE de blocos de concreto cujo acréscimo foi de 3,26%. Por fim, o imóvel com maior custo final foi a edificação conformada com SVVIE de blocos de concreto celular autoclavado, que teve um valor final superior, acrescido de 32,56%, sobre o empreendimento de menor custo, resultando em um investimento de R\$ 1.752.369,48.

O empreendimento proposto com sistemas de vedação verticais mistos, com alvenarias internas de blocos cerâmicos e fachadas de BBKA mostrou-se viável, pois seu custo final foi de R\$ 1.449.582,25. Isso representou um acréscimo de valor de 9,66% sobre o empreendimento de menor valor e um acréscimo de 6,40% sobre a edificação composta de blocos de concreto. Já em relação ao imóvel inteiramente edificado com SVVIE de blocos de concreto celular autoclavado, a edificação de composição misto teve um decréscimo de 22,91%.

5 CONCLUSÃO

A determinação de alvenarias de vedação vertical para edificações habitacionais de múltiplos pavimentos, é vinculada a ensaios que determinam e comprovam a eficácia dos sistemas, mediante os critérios de desempenho estipulados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

As composições de SVVIE, formadas pelos tipos de blocos e respectivos materiais de fabricação avaliados neste trabalho, mostraram-se satisfatórias dentro dos requisitos exigidos pela normatização vigente, quando são utilizados blocos de cerâmicos de 14 x 19 x 29 cm, com resistência $F_{bk} \geq 7$ MPa e peso específico de 1300 kg/m³, usando-se 2 cm de argamassa em ambos os lados dos SVE, e argamassas para os SVI na espessura de 2 cm em uma face e de 3 cm na face contrária.

Ao serem utilizados blocos de concreto em SVVIE, foi possível definir que o bloco de 14 x 19 x 39 cm, com resistência $F_{bk} \geq 4,5$ MPa e peso específico de 1400 kg/m³ corresponde aos critérios exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), quando revestidos com 2 cm de argamassa em um lado e 2,5 cm no lado oposto para os sistemas de alvenarias externos. Ao se tratarem de vedações internas, encaixam-se nos requisitos normativos, quando revestidos em ambas faces com 2 cm de argamassa.

O levantamento de dados para sistemas de vedação constituídos por BCCA permitiram uma determinação de diferentes espessuras de elementos, pois para os sistemas de vedação das fachadas, o bloco de 12,5 x 30 x 60 cm, com resistência característica à compressão indeterminada e peso específico de 550 kg/m³, com revestimento de 2,5 cm de argamassa em ambas faces, mostrou-se eficaz quanto às exigências determinadas pela norma de desempenho de edificações, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), Já para as vedações internas, o bloco de 20 x 30 x 60 cm, com resistência $F_{bk} \geq 2,5$ MPa e peso específico de 800 kg/m³, e com revestimento argamassado 1,5 cm em ambos lados da alvenaria teve comprovação de eficiência pelos laudos analisados.

Ao avaliar aos diferentes sistemas de vedação à luz dos requisitos da normatização, pode-se perceber que os blocos cerâmicos e de concreto comum têm níveis de desempenho muito similares. Essa similaridade ocorre a ponto de ambos blocos que atenderam a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) terem um peso específico

muito próximo. Ressalta-se, porém, a segurança contra incêndio, quando usado o bloco cerâmico, e o desempenho acústico, quando usado o bloco de concreto comum. Um ponto que se destacou na avaliação dos materiais de composição dos blocos foi que as alvenarias compostas de blocos de concreto celular autoclavado têm um nível de desempenho térmico e de segurança para incêndio muito acima das alvenarias construídas com os demais blocos, além de ter um peso específico de material muito abaixo.

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou compreender que o desempenho acústico de edificações, dentre os itens que a NBR15575 (ABNT, 2013b) parametriza, é um critério de difícil atendimento, independentemente do material ou do sistema construtivo. Porém, foi possível avaliar que, um ponto muito importante para uma adequação mais fácil das edificações dentro dos níveis normativos, quando se avalia a disposição arquitetônica de ambientes, é que se deve preservar a locação dos dormitórios dentro do projeto arquitetônico de forma que eles não compartilhem sistemas de vedação com outras unidades habitacionais ou com áreas comuns. Devem, sim, ter periferia com as alvenarias externas ou com os recintos internos da própria unidade, pois, dessa maneira, a necessidade acústica das alvenarias interpõe em 45 dB, o que faz com que grande parte dos SVVIE consigam atender aos níveis de desempenho desse item da norma, sem ter a necessidade da utilização de outros elementos construtivos para obter melhorias de desempenho.

No lançamento das estruturas, como já era esperado, visto o peso específico dos materiais dos blocos, os SVVIE compostos de blocos de concreto celular autoclavado geraram um carregamento nas estruturas abaixo dos demais, e, portanto, causaram uma menor carga nas fundações. Essa etapa demonstrou também que, a maior carga vertical e, portanto, nas fundações, foi da edificação composta por blocos de concreto. No entanto, é válido observar aqui que essa foi a tipologia construtiva avaliada que teve menor deslocamento horizontal, mostrando-se ser a mais rígida.

A etapa de levantamento dos custos confirmou que, embora a edificação composta por alvenarias de vedação de BCCA tenha gerado uma menor carga sobre as estruturas, e, portanto, menor consumo de aço, concreto e formas de concretagem, essa tipologia, por ter um elevado custo por bloco, teve um destaque negativo, a ponto de sobrepor-se em 32,56% ao empreendimento de menor custo,

que é o composto por blocos cerâmicos. Por outro lado, a edificação proposta com SVVIE de blocos de concreto teve um acréscimo de apenas de 3,26% quanto aos comparativos de custos, em relação à de menor investimento.

De modo a alcançar melhor condição de execução dos SVVIE, o trabalho teve continuidade de pesquisas, buscando uma possível combinação de alvenarias de vedação. Pesquisou-se uma combinação de desempenho e custos de diferentes sistemas, levando em consideração que os blocos cerâmicos são blocos que se destacaram em relação ao número de ensaios realizados pelos fabricantes. Isso reflete a importância que as empresas dão à evolução da construção civil no país. Esses blocos destacaram-se igualmente quanto à segurança contra incêndio e ao desempenho térmico, além de apresentarem custos menores para aos SVI similares aos sistemas com blocos de concreto. Por isso, determinou-se para um novo projeto de edificação o uso de blocos cerâmicos para os sistemas de vedação internos. Nessa nova proposta, escolheu-se para as fachadas externas os blocos de concreto celular autoclavado, pois pôde ser verificado o grande destaque em relação ao desempenho térmico e também a segurança contra incêndio desses blocos, tendo-se assim, uma edificação em que o desempenho térmico e a segurança contra incêndio sejam pontos de destaque.

Essa proposta de empreendimento com sistemas de vedação mistos mostrou-se viável, pois teve um custo final que representou um acréscimo de valor de 9,66% sobre o empreendimento de menor valor, e um acréscimo de 6,40% sobre a edificação composta de blocos de concreto. Por outro lado, em relação ao imóvel edificado inteiramente com SVVIE de blocos de concreto celular autoclavado, a edificação de composição mista teve um decréscimo de 22,91%.

Ao final deste estudo, pode-se constatar que, quando são considerados os diversos pontos levantados, as edificações que são compostas de SVVIE, com blocos fabricados com os materiais mais usados pela construção no país, conseguem atender os critérios necessários para os níveis da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) com um menor valor de investimento. É importante somente sempre coordenar as execuções das alvenarias, para que sejam respeitadas as espessuras necessárias. Porém, é essencial ressaltar que, na busca de uma edificação que atenda aos níveis de desempenho superiores na norma, a combinação de SVI composta por blocos cerâmicos e SVE constituída por blocos de concreto celular autoclavado vem a ser uma interessante opção, visto que necessita de um

investimento diminuto no que diz respeito aos custos globais inseridos em edificações.

Para um resultado acertado, esses parâmetros levantados concluir-se-iam de maneira mais eficaz, se fossem confrontados com uma pesquisa que obtivesse quantitativos quanto à eficiência energética de edificações com os sistemas verticais propostos, pois os custos energéticos de uso e operação poderão influenciar de maneira positiva na edificação composta por sistemas verticais mistos.

REFERÊNCIAS

ABCP. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimentos de argamassa**. Comunidade da Construção, 2002. Disponível em <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>> Acesso em: 4 fev. 2019.

_____. **Manual de desempenho de alvenaria com blocos de concreto**. Guia para atendimento à norma ABNT 15575. 3. ed. 2018.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro. 2013.

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7480**: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 8953**: Concretos para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 10636**: Paredes divisórias sem função estrutural: Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13438**: Bloco de concreto autoclavado – especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 14956**: Bloco de concreto autoclavado – execução de alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15270-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15575**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

ALBINO, J. C. A.; CAMARGOS, S. P.; NOVAIS, R. C.; OLIVEIRA, M. P. V.; MELLO, J. S. F. **Competitividade e inovação na construção civil**: uma experiência rumo à personalização em massa. XII SIMPEP – São Paulo, 2005.

AMBROZEWICS, P. H. L. **Construção de edifícios**: do início ao fim da obra. São Paulo: PINI, 2015.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande do Sul: Dunas, 2014. vol. 1.

AVILA, A. V.; LIBRELOTTO, L. I.; LOPES, O. C. **Orçamento de obras**. Universidade do Sul de Santa Catarina. Santa Catarina, 2003.

BATTAGIN, I. L. S. **As edificações em concreto segundo a norma de desempenho**. ABNT/CB-18. Rodada do conhecimento. Concrete Show 2015. São Paulo, 27 ago. 2015.

BLOCO PRECON. **Concreto celular autoclavado**. Ficha técnica. Minas Gerais, 2018.

BRASIL. **Decreto-lei nº 7.983**, de 08 de abril de 2013. Brasília, DF, 03/2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Decreto/D7983.htm>. Acesso em: 25 abr. 2019.

BRONDANI, R. P. **Avaliação do ciclo de vida e do custo de uma edificação de concreto**. 2015. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Desempenho de edificações habitacionais**: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013. 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; HASPARYK, N. P. Microestrutura dos materiais cerâmicos. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

DÉSIR, J. M. **Alvenaria estrutural**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2012. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/napead/projetos/alvenaria-estrutural/index.php>>. Acesso em: 28 out. 2018.

FRANCO, L. S. **O projeto das vedações verticais**: características e a importância para a racionalização dos processos de produção. São Paulo, 1998. Disponível em <http://www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas/Inova%C3%A7%C3%A3o_Tecnologica/O%20PROJETO%20DAS%20VEDACOES%20VERTICAIS.pdf> Acesso em: 8 abr. 2019.

GOLDMAN, P. **Introdução ao planejamento e controle de custos na construção civil brasileira**. 4. ed., São Paulo: PINI, 2004.

HELENE, P. R.; ANDRADE, T. Concreto de cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

HELENE, P.; MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O. Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto. In: ISAIA, Geraldo C. (ed.). **Concreto**: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

HOLANDA, É. P. H. **Novas tecnologias construtivas para produção de vedações verticais**: diretrizes para o treinamento da mão-de-obra. São Paulo, 2003. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Setor de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

HOLM, T. A.; RIES, J. P. **Reference manual for the properties and applications of expanded shale, clay and slate lightweight aggregate**. [Salt Lake City]: Expanded Shale, Clay and Slate Institute (ESCSI), 2007.

ISAIA, G. C. A Ciência e a engenharia de materiais de construção civil. In: _____. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

ITT PERFORMANCE. INSTITUTO TECNOLÓGICO EM DESEMPENHO E CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatório de ensaio n. 0534/2014**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2014.

_____. **Relatório de ensaio n. 0566/2014**. São Leopoldo, 2014.

ITT PERFORMANCE. INSTITUTO TECNOLÓGICO EM DESEMPENHO E CONSTRUÇÃO CIVIL. **Relatório de ensaio n. 0727/2015**. São Leopoldo, 2015.

_____. **Relatório de ensaio n. 0615/2016**. São Leopoldo, 2016.

_____. **Relatório de ensaio n. 0655/2016**. São Leopoldo, 2016.

_____. **Relatório de ensaio n. 1398/2016**. São Leopoldo, 2016.

_____. **Relatório de ensaio n. 1401/2016**. São Leopoldo, 2016.

_____. **Relatório de ensaio n. 1416/2016**. São Leopoldo, 2016.

_____. **Relatório de ensaio n. 1536/2016**. São Leopoldo, 2016.

_____. **Relatório de ensaio n. 1697/2017**. São Leopoldo, 2017.

_____. **Relatório de ensaio n. 1799/2017**. São Leopoldo, 2017.

KAZMIERCZAK, C. S. Produtos de cerâmica vermelha. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed., Rio de Janeiro: ELETROBRAS PROCEL, 2014.

LERNER, L. R.; KASPARY, J.; SOUZA, C. F. N.; ORTOLAN, V.; CHRIST, ROBERTO; TUTIKIAN, B. F. Verificação da resistência mecânica à tração de revestimento do tipo monocamada aplicada em blocos de concreto submetido ao ensaio de estanqueidade à água. In: 59. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2017, Bento Gonçalves. **Anais do 59. Congresso Brasileiro do Concreto CBC2017**. São Paulo: IBRACON, 2017. p. 1-10.

LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada**. 3. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2001.

MARINOSKI, D. L. **Relatório de avaliação de propriedades térmicas de paredes de alvenaria de vedação em blocos de concreto celular autoclavado**. Laboratório de eficiência energética em edificações. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamentos de obras**: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos. São Paulo: PINI, 2006.

MEDEIROS, J. S. **Tecnologias de vedação e revestimento para fachadas**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2014.

MOHAMAD, G. et al. A alvenaria estrutural. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010.

NASCIMENTO, O. L. **Alvenarias**. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2004.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2010.

PINI. **Alternativas tecnológicas para edificações**. São Paulo: PINI, 2008. vol.1.

RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: PINI, 1995.

S3ENG – Tecnologia Aplicada à Engenharia S/A. **Software AltoQi Eberick**. Florianópolis, 2017. Versão V10, aplicação Pro, out. 2017.

SANTOS, J. S. **Desconstruindo o projeto estrutural de edifícios: concreto armado e protendido**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SILVA, M. A. C. (Coord.). **Desempenho: sistemas de alvenaria com blocos cerâmicos**. Pauluzzi, 2015.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 2010.

TCPO. **Tabelas de composição de preços para orçamentos**. 14. ed. São Paulo: PINI, 2012.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa**. 2014. 148 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento em Tecnologia dos Materiais) - Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014.

VASCONCELOS, A. C. Evolução do cálculo de estruturas. **TQS News**, n. 34, p. 42-44, fev. 2012.

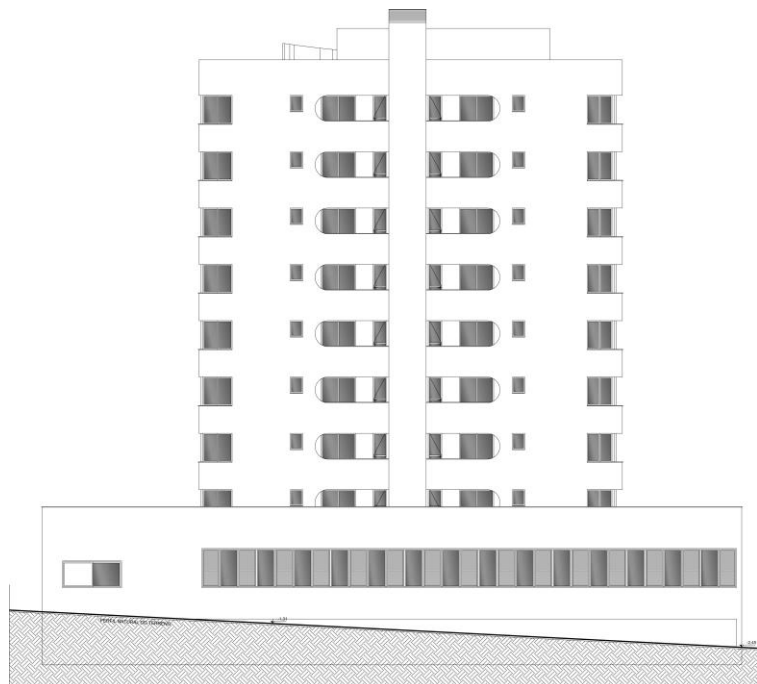
APÊNDICES

APÊNDICE A – Fachadas



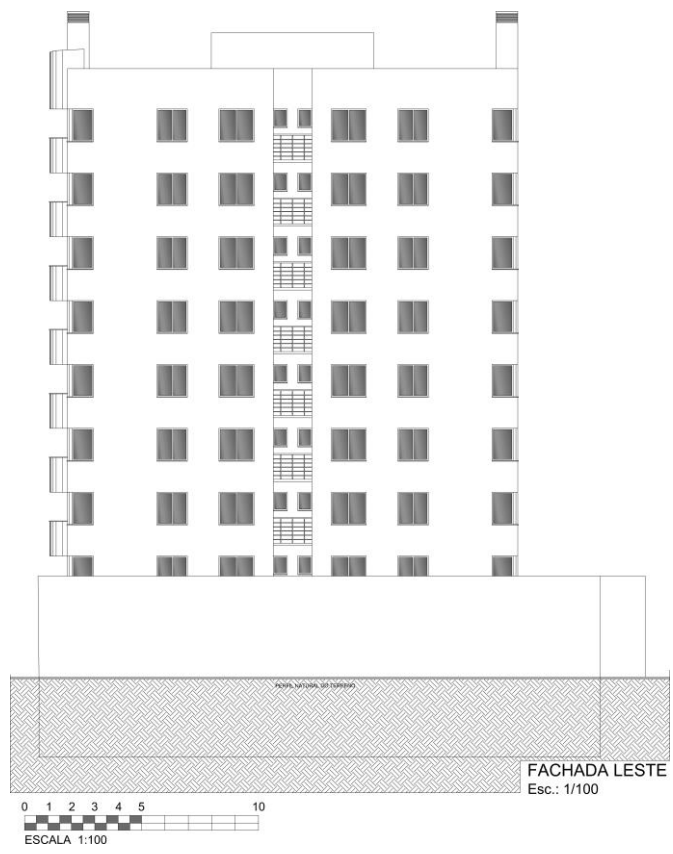
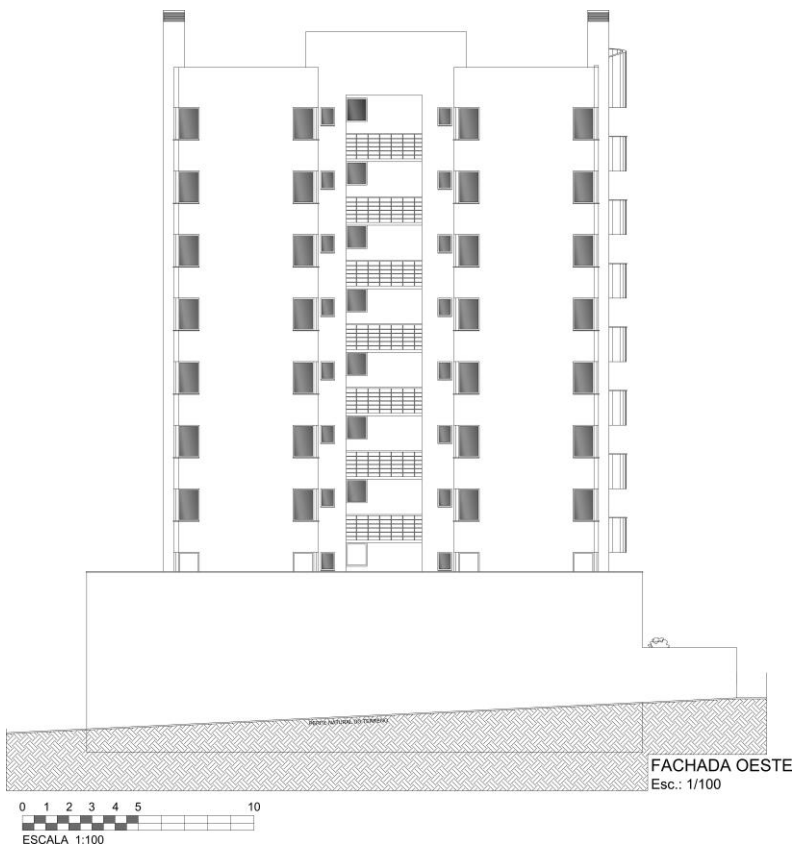
0 1 2 3 4 5 10
ESCALA 1:100

FACHADA SUL
Esc.: 1/100

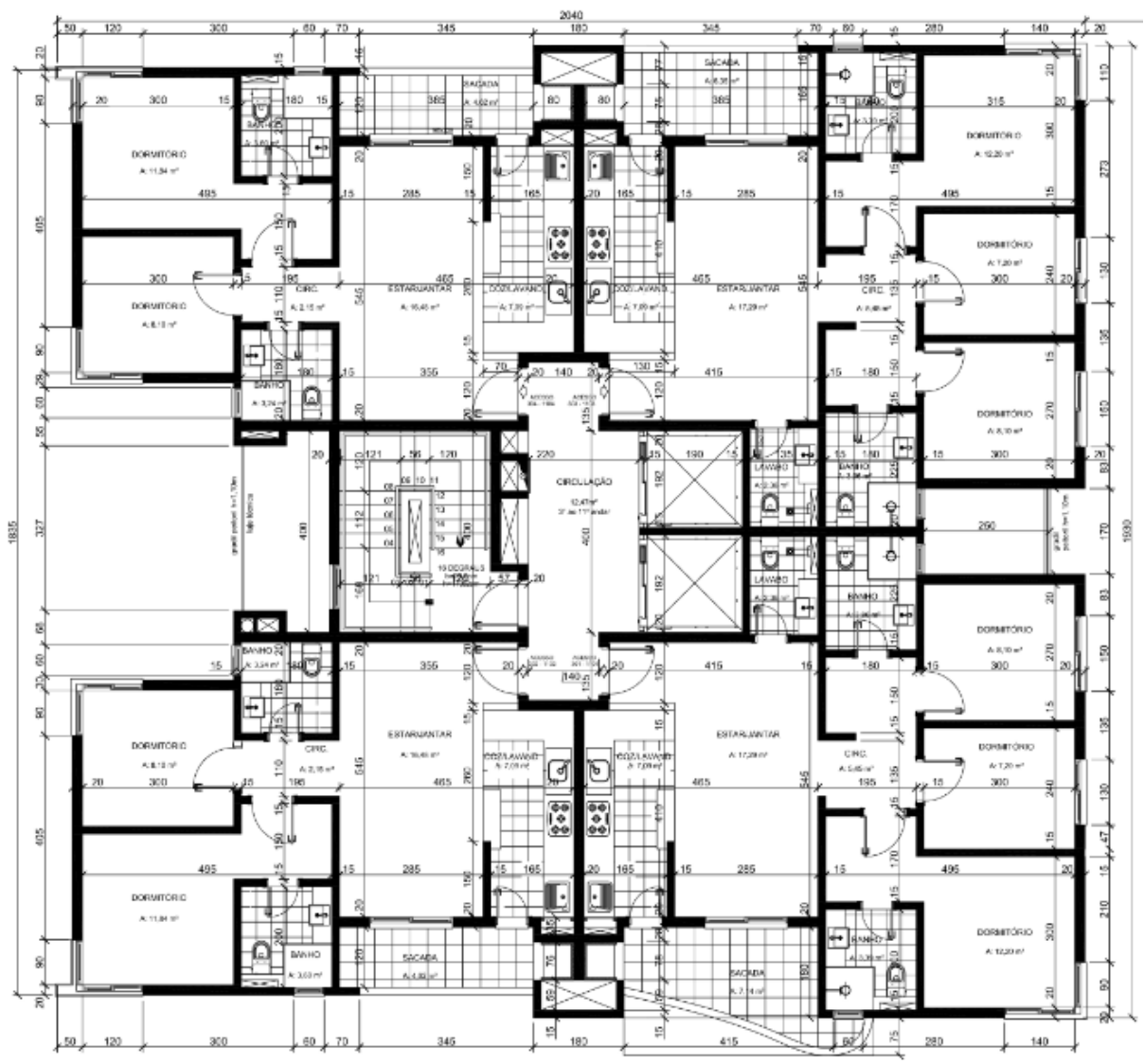


0 1 2 3 4 5 10
ESCALA 1:100

FACHADA NORTE
Esc.: 1/100



APÊNDICE B – Planta baixa tipo



PLANTA BAIXA TIPO

APÊNDICE C– Preços referências adotados

Preços referências desonerados adotados segundo Sinapi para a cidade de Porto Alegre (03/2019)

Código	Descrição	UNIDADE	Custo unitário
00000039	Aço CA-60, 5,0 mm, vergalhão	KG	4,67
00000032	Aço CA-50, 6,3 mm, vergalhão	KG	4,93
00000033	Aço CA-50, 8,0 mm, vergalhão	KG	5,53
00000034	Aço CA-50, 10,0 mm, vergalhão	KG	4,71
00000031	Aço CA-50, 12,5 mm, vergalhão	KG	4,48
00000027	Aço CA-50, 16,0 mm, vergalhão	KG	4,48
00000029	Aço CA-50, 20,0 mm, vergalhão	KG	4,19
00001349	Chapa de madeira compensada plastificada para forma de concreto, de 2,20 x 1,10 m, e = 20 mm	UN	90,98
00001527	Concreto usinado bambeável, classe de resistência c25, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	M3	337,12
00001525	Concreto usinado bambeável, classe de resistência c30, com brita 0 e 1, slump = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (NBR 8953)	M3	348,47
00025070	Bloco concreto estrutural 14 x 19 x 39 cm, Fbk 4,5 MPa (NBR 6136)	UN	2,62
00034586	Bloco estrutural cerâmico 14 x 19 x 29 cm, 6,0 MPa (NBR 15270)	UN	1,41
00034600	Bloco vedação concreto celular autoclavado 15 x 30 x 60 cm (e x a x c)	M2	98,45
00000652	Bloco vedação concreto celular autoclavado 20 x 30 x 60 cm	M2	125,39
00037552	Argamassa industrializada para chapisco rolado	KG	1,86
00000371	Argamassa industrializada multiuso, para revestimento interno e externo e assentamento de blocos diversos	KG	0,38
00006127	Auxiliar de pedreiro	H	9,99
00004750	Pedreiro	H	13,10

Fonte: Sinapi (CAIXA, 2019).

ANEXOS

ANEXO A – Níveis de desempenho segundo a ABNT NBR 15575-4 (2013)

(Informativo)

Tabela A.1 - Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por meio de mão-francesa padrão

Carga de ensaio aplicada em cada ponto (kN)	Carga de ensaio aplicada em cada peça (kN)	Crítérios de desempenho	Nível de desempenho
0,4	0,8	Ocorrência de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 500$; $d_{hr} \leq h / 2500$	M
0,5	1,0	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 500$; $d_{hr} \leq h / 2500$	I
0,6	1,2	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 500$; $d_{hr} \leq h / 2500$	S
Onde: H – altura do elemento parede; d_h – deslocamento horizontal instantâneo; d_{hr} – deslocamento horizontal residual.			

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Tabela A.2 - Exigências de impacto de corpo mole e critérios para vedações verticais externas sem função estrutural

(Continua)

Impacto	Energia de Impacto (J)	Crítérios de desempenho	Nível de desempenho
Impactos na face externa (local com acesso externo do público, em geral andar térreo)	720	Não ocorrência de ruínas (estado-limite último)	I
	480		
	360	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)	M
	240	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 125$; $d_{hr} \leq h / 625$	
	180	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)	
	120		

Impacto	Energia de Impacto (J)	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
Impactos na face interna (todos os pavimentos)	360	Não ocorrência de ruptura nem transpasse de parede pelo corpo precursor de impacto	M
	180		
	120	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 125$; $d_{hr} \leq h / 625$	

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Tabela A.3 - Exigências de impacto de corpo mole e critérios para vedações verticais internas sem função estrutural

Energia de Impacto (J)	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
240	Não ocorrência de ruína (estado-limite último)	I; S
180	São permitidas falhas localizadas	
120	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 125$; $d_{hr} \leq h / 625$	
60	Não ocorrência de falhas	
120	Não ocorrência de ruína (estado-limite último) São permitidas falhas localizadas	M
60	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h / 125$; $d_{hr} \leq h / 625$	

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Tabela A.4 - Exigências de impacto de corpo duro para vedações verticais externas
(Continua)

Impacto	Energia de Impacto (J)	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
Impacto externo (acesso externo ao público)	3,75	Não ocorrência de falhas, inclusive no revestimento	M
	20	Não ocorrência de ruptura ou transpassamento	
	3,75	Não ocorrência de falhas Profundidade da moça $p \leq 2,0$ mm	I

Impacto	Energia de Impacto (J)	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
	20	Não ocorrência de ruptura ou transpassamento	
Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas	M
	10	Não ocorrência ruptura ou transpassamento	
	2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da moessa $p \leq 2,0$ mm	I
	10	Não ocorrência de ruptura ou transpassamento	

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Tabela A.5 - Exigências de impacto de corpo duro para vedações verticais internas

Energia de Impacto (J)	Critérios de desempenho	Nível de desempenho
2,5	Não ocorrência de falhas	M
10	Não ocorrência de ruptura ou transpassamento	
2,5	Não ocorrência de falhas Profundidade da moessa $p \leq 2,0$ mm	I; S
10	Não ocorrência de ruptura ou transpassamento	

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

Tabela A.6 - Níveis de desempenho para estanqueidade de vedações verticais externas (fachadas)

Edificação	Tempo de Ensaio (h)	Percentual máximo das áreas das manchas de umidade na face oposta a incidência da água, em relação à área total do corpo-de-prova ao final do ensaio	Nível de desempenho
Térrea	7	10	M
		Sem manchas	I; S
Com mais de um pavimento	7	5	M
		Sem manchas	I; S

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Tabela A.7 - Índices de redução sonora ponderada de vedações externas

Classe de ruído	Localização da habitação	R_w [dB]	NÍVEL DE DESEMPENHO
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III.	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

Nota:

Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há exigências específicas.

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

Tabela A.8 - Índices de redução sonora ponderada de vedações internas entre ambientes

(Continua)

ELEMENTO	R_w [dB]	NÍVEL DE DESEMPENHO
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso em que pelo menos um dos ambientes é dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

ELEMENTO	R_w [dB]	NÍVEL DE DESEMPENHO
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥45	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnT,w obtida entre as unidades).	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥55	S

Ensaio realizado *in loco* tem redução de 5 dB no desempenho acústico

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

ANEXO B – Segurança contra incêndio

(Informativo)

Tabela A.1 – Classificação de materiais pelo método da EN 13823

(Continua)

Classe		Método de ensaio		
		ISO 1182	EN 13823 (SBI)	EN ISO 11925-2 (exp. = 30 s)
I		Incombustível $\Delta T \leq 30 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\Delta m \leq 50 \%$; $t_f \leq 10 \text{ s}$.	–	–
II	A	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRAs $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRAs $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
III	A	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRAs $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
	B	Combustível	FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRAs $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s

Classe		Método de ensaio		
I		ISO 1182	EN 13823 (SBI)	EN ISO 11925-2 (exp. = 30 s)
IV	A	Combustível	FIGRA ≤ 750 W/s SMOGRAs ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
	B	Combustível	FIGRA ≤ 750 W/s SMOGRAs ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
V	A	Combustível	FIGRA ≤ 750 W/s SMOGRAs ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 20 s
	B	Combustível	FIGRA ≤ 750 W/s SMOGRAs ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 20 s
VI		–	–	FS > 150 mm em 20 s

Onde:

FIGRA – Índice da taxa de desenvolvimento de calor;

LFS – Propagação lateral da chama;

THR600s – Liberação total de calor do corpo-de-prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas;

TSP600s – Produção total de fumaça do corpo-de-prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas;

SMOGRAs – Taxa de desenvolvimento de fumaça, correspondendo ao máximo do quociente de produção de fumaça do corpo-de-prova e o tempo de sua ocorrência; FS – Tempo em que a frente da chama leva para atingir a marca de 150 mm indicada na face do material ensaiado;

EN ISO 11925-2 – *Reaction to fire tests – Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test*

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013).

ANEXO C – Estanqueidade e ação do ventos

Figura C.1 – Determinação de regiões brasileiras para avaliações dos efeitos de estanqueidade à água e ação dos ventos no Brasil.



Fonte: CBIC (2013)