



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CARLOS ALEXANDRE DA SILVA VIEIRA

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE CINCO PAVIMENTOS EM
ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A ABNT NBR 15961-1:2011 COM
ANÁLISE DO EFEITO ARCO

Pombal – PB
2019

CARLOS ALEXANDRE DA SILVA VIEIRA

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE CINCO PAVIMENTOS EM
ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A ABNT NBR 15961-1:2011 COM
ANÁLISE DO EFEITO ARCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil, na Universidade Federal
de Campina Grande como requisito para obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Prof. Mrs. Cibelle Dias de Carvalho Dantas Maia

Pombal – PB
2019

V658d Vieira, Carlos Alexandre da Silva.
Dimensionamento de um edifício residencial de cinco pavimentos em alvenaria estrutural de acordo com a ABNT NBR 15961-1:2011 com análise do efeito arco / Carlos Alexandre da Silva Vieira. – Pombal, 2019. 85 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.

"Orientação: Profª. Ma. Cibelle Dias de Carvalho Dantas Maia".
Referências.

1. Alvenaria estrutural. 2. Dimensionamento de edifício. 3. Interação parede-viga. I. Maia, Cibelle Dias de Carvalho Dantas. II. Título.

CDU 693(043)

CARLOS ALEXANDRE DA SILVA VIEIRA

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE CINCO
PAVIMENTOS EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE ACORDO COM A ABNT
NBR 15961-1:2011 COM ANÁLISE DO EFEITO ARCO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil, na Universidade
Federal de Campina Grande como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

BANCA EXAMINADORA

Cibelle Dias de Carvalho Dantas Maia
Orientadora-MSc. Cibelle Dias de Carvalho Dantas Maia
(Universidade Federal de Campina Grande-CCTA-UACTA)

Saul Barbosa Guedes
Professor da Disciplina-Pós-D.Sc Saul Barbosa Guedes
(Universidade Federal de Campina Grande-CCTA-UACTA)

Eduardo Morais de Medeiros
Examinador interno – MSc Eduardo Morais de Medeiros
(Universidade Federal de Campina Grande-CCTA-UACTA)

Hellykan Berliet dos Santos Monteiro
Examinadora externo-MSc. Hellykan Berliet dos Santos Monteiro
(Faculdade Santa Maria)

Pombal, 28 de Novembro de 2019

Dedico este trabalho, especialmente a minha família, amigos e colegas por sempre estarem ao meu lado ajudando a enfrentar todos os desafios encontrados ao longo deste percurso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por inundar minha vida de esperança, força e vontade para vencer os desafios constantemente colocados em minha jornada.

Aos meus familiares em especial aos meus irmãos Roberto Vieira e Alrislandia Vieira, minha mãe Aurea Maria e minha tia Francisca Vieira, pelas palavras de conforto e constante apoio ao longo dessa jornada.

A orientadora deste trabalho, Professora MSc. Cibelle Maia, por coordenar as atividades que resultaram no presente trabalho e por sempre estar disponível e acessível para boas orientações de forma profissional e concisa.

Aos professores, por me guiar desde a educação básica me ensinando a escrever as primeiras palavras e realizar as primeiras operações matemáticas, assim como um agradecimento especial para os da graduação por além das teorias e técnicas, ensinarem os valores desta nova profissão.

Aos colegas de curso em especial Maria Rayanne, Adriano Lopes, Marcos Lira, Rodolfo Silvestre, Tainá Souza, Nayla Oliveira e Denn's Santana, resta agradecer pela amizade e constante apoio. Tudo teria sido mais difícil sem as palavras amigas e comichidade diária proporcionada por nossas brincadeiras.

Aos amigos da Residência em especial Kaíque Oliveira, Tácio Tibério, Elcimar Lopes, Iure Carvalho, Pedro Francisco, Valderisso Alfredo, Bruno, Lucas Pinheiro, Afranio Jacinto, Emanuel Ferreira, Filipe Fernandes, Alessandro, Kaio, Igor e Artur Vinícius com que pude compartilhar inúmeros momentos de descontração e convivência com pessoas que carregarei no peito para sempre.

A arquiteta Herllange Chaves de Brito, que de forma espontânea cedeu o projeto arquitetônico com o qual pude realizar o trabalho.

RESUMO

O setor da construção civil está em constante desenvolvimento a fim de se obter materiais e métodos construtivos e estruturais que melhor se adaptem às necessidades de cada região e perfil de obra, primando por meios mais eficientes, econômicos e sustentáveis. A alvenaria estrutural evoluiu bastante nas últimas décadas tornando-se um dos sistemas construtivos mais sustentáveis por conta da racionalização que acarreta na redução dos resíduos gerados, constituindo-se como um dos sistemas construtivos mais usuais atualmente devido a plena capacidade de atender à demanda do setor por meios mais eficientes e ambientalmente viáveis. Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho dimensionar um edifício residencial de cinco pavimentos em alvenaria estrutural de blocos de concreto realizado de acordo com a ABNT NBR 15961-1:2011 e analisar seu arqueamento. As lajes foram pré-dimensionadas segundo ABNT NBR 6118:2014 e o levantamento das cargas verticais conforme a ABNT NBR 6120:2019. Calculou-se o efeito arco pela equação de Riddington e Smith (1978), devido sua simplicidade e ao fato de apresentar resultados bastante próximos da realidade. Observou-se a ocorrência do efeito arco com um aumento de tensões nas paredes da edificação e os parâmetros essenciais responsáveis por tal ocorrência. Fica evidente o aumento de tensões próximo aos apoios e a necessidade de considerar a interação parede e viga no dimensionamento de edifícios de alvenaria estrutural apoiadas sobre vigas, sendo indispensável para evitar o aparecimento de patologias e para que consiga atender aos padrões de desempenho esperados.

Palavras-Chave: Alvenaria estrutural. Dimensionamento. Interação parede-viga.

ABSTRACT

The construction sector is constantly developing in order to obtain construction and structural materials and methods that best adapt to the needs of each region and work profile, striving for more efficient, economical and sustainable means. Structural masonry has evolved considerably in recent decades, becoming one of the most sustainable building systems due to the rationalization that leads to the reduction of waste generated, constituting one of the most common building systems currently due to the full capacity to meet the demand of the sector, by more efficient and environmentally viable means. Thus, the objective of this work was to design a five-storey residential building in structural masonry of concrete blocks made in accordance with ABNT NBR 15961-1: 2011 and analyze its arch. The slabs were pre-dimensioned according to ABNT NBR 6118: 2014 and the lifting of vertical loads according to ABNT NBR 6120: 2019. The arc effect was calculated by the Riddington and Smith (1978) equation, due to its simplicity and the fact that it presents results that are close to reality. The occurrence of the arc effect was observed with an increase of tensions in the walls of the building and the essential parameters responsible for such occurrence. It is evident the increase of stresses close to the supports and the need to consider the interaction wall and beam in the design of structural masonry buildings supported on beams, being indispensable to avoid the appearance of pathologies and to meet the expected performance standards.

Key Words: Structural masonry. Sizing. Wall beam-interaction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Coliseu de Roma.....	19
Figura 2 - Pirâmides do Egito.....	20
Figura 3 - Parthenon	20
Figura 4 - Monadnock Building.....	21
Figura 5 - Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa Concluído em 1966.....	23
Figura 6 - Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa Concluído em 1972.....	23
Figura 7 - Edifício Carolina Pellicciari.....	24
Figura 8 – Bloco Vazado de Concreto Simples.....	26
Figura 9 – Modulação Horizontal.....	26
Figura 10 – Colocação dos Eletrodutos por Dentro dos Blocos.....	27
Figura 11 – Execução da Alvenaria.....	28
Figura 12 – Blocos Especiais para Instalações.....	28
Figura 13 - O efeito arco nas paredes de alvenaria.....	29
Figura 14 - Porção da parede com formação do efeito arco.....	30
Figura 15 - Fluxograma para elaboração do projeto.....	32
Figura 16 - Paredes estruturais.....	35
Figura 17 – Funcionamento do sistema estrutural em alvenaria estrutural.....	35
Figura 18 – Dispersão de ações verticais.....	36
Figura 19 - Distribuição das cargas das lajes para as paredes resistentes.....	37
Figura 20 - Esquematização do assentamento de lajes sobre as canaletas.....	37
Figura 21 – Isopletras da Velocidade básica V_0 (m/s)	42
Figura 22 - Vento a 0° (a) e Vento a 90° (b).....	44
Figura 23 - Armadura construtiva.....	67
Figura 24 - Modulação da primeira e segunda fiada.....	76
Figura 25 – PAR01.....	77
Figura 26 – PAR02 X.....	77
Figura 27 – PAR18 e PAR02 Y.....	77
Figura 28 – PAR23 e PAR10 Y.....	78
Figura 29 – PAR16 Y e PAR26.....	78
Figura 30 – PAR06.....	78
Figura 31 – PAR05 X.....	79
Figura 32 – PAR05 Y e PAR21.....	79

Figura 33 – PAR03 e PAR04.....	79
Figura 34 – PAR11, PAR13 e PAR15.....	80
Figura 35 – PAR11.....	80
Figura 36 – PAR15.....	80
Figura 37 – PAR13.....	81
Figura 38 – PAR27.....	81
Figura 39 – PAR28.....	81
Figura 40 – Planta baixa.....	82
Figura 41 – Fachada Nordeste.....	83
Figura 42 – Fachada Sudeste.....	83
Figura 43 – Fachada Sudoeste.....	84
Figura 44 – Fachada Noroeste.....	84
Figura 45 – Corte AA.....	85
Figura 46 – Corte BB.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Economia conseguida com o uso do sistema quando comparado com os convencionais.....	25
Quadro 2 - Carga das lajes sobre as paredes.....	38
Quadro 3 – Valores de C_e	43
Quadro 4 - Forças do vento na direção X (0°)	44
Quadro 5 - Forças do vento na direção Y (0°)	44
Quadro 6 - Propriedades geométricas das paredes.....	47
Quadro 7 - Distribuição das ações horizontais na direção Y.....	48
Quadro 8 - Distribuição das ações horizontais na direção X.....	49
Quadro 9 – Dimensionamento a compressão (quarto pavimento)	51
Quadro 10 – Dimensionamento a compressão (terceiro pavimento)	52
Quadro 11 – Dimensionamento a compressão (segundo pavimento)	53
Quadro 12 - Resistência ao cisalhamento.....	54
Quadro 13 – Solicitação ao cisalhamento na direção X.....	55
Quadro 14 – Resistência ao cisalhamento na direção X.....	56
Quadro 15 – Solicitação ao cisalhamento na direção Y.....	57
Quadro 16 – Resistência ao cisalhamento na direção Y.....	57
Quadro 17 – Flexo-compressão na direção X (quarto pavimento)	59
Quadro 18 – Flexo-compressão na direção X (terceiro pavimento)	60
Quadro 19 – Flexo-compressão na direção X (segundo pavimento)	61
Quadro 20 – Flexo-compressão na direção Y (quarto pavimento)	62
Quadro 21 – Flexo-compressão na direção Y (terceiro pavimento)	63
Quadro 22 – Flexo-compressão na direção Y (segundo pavimento)	64
Quadro 23 -Tensão devida ao arqueamento.....	67
Quadro 24 -Resumo dos materiais.....	69
Quadro 25 - Resumo dos materiais após a consideração do efeito arco.....	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Acréscimo de tensões devido ao efeito arco.....	69
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCTA – Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar
cm – Centímetro
CM – Casa de máquinas
KN – Kilo Newton
PB – Paraíba
PP – Peso Próprio
MPa – Mega Pascal
KPa – Kilo Pascal
m – Metro
m² - Metro quadrado
m³ – Metro cubico
SN – Sem número
K- Rigidez relativa
E_p- Modulo de elasticidade da parede
t_p- Espessura da parede
L- Comprimento da parede
E_v- Modulo de elasticidade da viga
I_v- Inércia da viga
 γ_{ca} - Peso especifico do concreto armado
h - Espessura da escada
e – Espelho da escada
 Φ - Ângulo de desaprumo da edificação
H – Altura da edificação
P - Peso da edificação
F – Força devida ao desaprumo
V_k – Velocidade característica
C_a - Coeficiente de arrasto
q - Pressão dinâmica
A_p - Área de incidência da rajada.
F_v – Força devida ao vento

Δf - Deslocamento devido a flexão
 Δc - Deslocamento devido aos esforços cortantes
 H_p - Altura da parede
 E - Módulo de elasticidade longitudinal da parede
 I - Momento de inércia da parede
 c - Fator corretivo de cisalhamento
 G - Módulo de elasticidade diagonal da parede
 A - Área da seção diagonal da parede
 R_i - Rigidez relativa as demais paredes
 F_{xi} - Esforços horizontais na direção X
 F_{yi} - Esforços horizontais na direção Y
 I_x - Momento de inércia na direção X
 I_y - Momento de inércia na direção Y
 N_k - Carga distribuída sobre a parede
 γ_f - Coeficiente de majoração da carga
 h_{ef} - Altura efetiva da parede
 t_{ef} - Espessura efetiva da parede
 f_{pk} - Resistência a compressão da parede
 f_{bk} - Resistência a compressão do bloco usado
 f_a - Resistência a compressão da argamassa
 f_{gk} - Resistência a compressão do graute
 f_{pk} - Resistência a compressão do prisma
 τ_0 - Parcela inicial de resistência devido a aderência
 σ - Compressão causada por 90% da cargas sobre a alvenaria
 μ - Fator de atrito

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	155
2. OBJETIVOS.....	177
2.1. Objetivo Geral	177
2.2. Objetivos Específicos	177
3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	188
4. REFERENCIAL TEÓRICO	19
4.1 Histórico da alvenaria estrutural.....	19
4. 1. 1 No Mundo	19
4. 1.2. No Brasil	222
4.2 Vantagens e Desvantagens	244
4.3 Bloco.....	255
4.4 Compatibilização de Projetos	266
4.5 Argamassa para Assentamento.....	288
4.5 Efeito Arco	29
5. METODOLOGIA	322
6. ANÁLISE ESTRUTURAL.....	344
6.1 Dados do Edifício	344
6. 2 Ações Verticais.....	366
6.2.1 Cargas das Lajes.....	366
6.2.2 Modulação Vertical	377
6.2.3 Peso da Escada, Casa de Maquinas e Caixa de Água	39
6.3 Ações Horizontais	400
6. 3. 1 Desaprumo	400
6. 3. 2 Ações do Vento Segundo a ABNT NBR 6123:1988	411
7. DIMENSIONAMENTO	466
7.1 Distribuição das Ações Horizontais	466
7.1.2 Teorema dos Eixos Paralelos.....	466
7.2 Dimensionamento a Compressão das Paredes	500
7.3 Resistência ao Cisalhamento	544
7.4 Resistência à Flexo-Compressão para Alvenaria não Armada ou com Baixa Taxa de Armadura – ELU	59
7.5 Resistência à Flexo-Tração para Alvenaria não Armada ou com Baixa Taxa de Armadura – ELU	655

7.6 Estabilidade do Edifício.....	655
7.7 Interação Viga-Parede	677
7.8 Resultados.....	688
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	711
REFERÊNCIAS	722
Apêndice A: Modulação.....	766
Apêndice B: Modulação Vertical	77
Anexo A: Planta Baixa	822
Anexo B: Fachadas	83
Anexo C: Cortes	85

1. INTRODUÇÃO

Dar-se o nome de alvenaria ao conjunto de peças justapostas unidas em suas juntas, por meio de uma argamassa adequada, formando assim um elemento vertical coeso (TAUIL e NESE, 2012). No caso específico da alvenaria estrutural com junta de um centímetro como especificado na ABNT NBR 15961-1:2011, tanto em juntas verticais como horizontais. A diferença básica entre um edifício em alvenaria estrutural para um com alvenaria de vedação é basicamente que no caso da estrutural as paredes suportam as cargas que são solicitadas pela edificação. Essa alvenaria pode ser armada ou não armada, de acordo com o tamanho dos esforços de tração eventualmente sofridos pela edificação.

Constitui atualmente um dos sistemas mais usados como alternativa à técnica consuetudinária que consiste em estruturas de concreto armado, na qual a alvenaria desempenha apenas função de vedação e são os pilares que recebem as cargas das vigas e assim as levam para as fundações. Já na alvenaria estrutural as paredes desempenham atribuição de divisão dos ambientes e função estrutural, levando essas cargas às fundações ou estruturas intermediárias (SILVA et al., 2017).

A alvenaria estrutural já existe há bastante tempo e são encontrados vários exemplos de grandes obras na história, como: as Pirâmides, a Muralha da China, o Parthenon entre outros encontrados em várias partes do mundo. Entretanto, foi a partir da década de 50 que se começou a discutir mais a utilização dos blocos tendo uma atenção maior em relação à qualidade dos mesmos (SÁNCHEZ, 2013).

Com o aumento da qualidade do material e redução dos custos dos blocos e outros materiais empregados, foi possível construir estruturas maiores com acentuada redução dos custos, uma vez que é um sistema estrutural que não demanda armadura e, quando o faz, isso ocorre em quantidade bem menor que as estruturas em concreto armado. Hoje não existe limitação de altura no Brasil, o que existe é uma limitação econômica, pois quanto maior o edifício maior a resistência necessária, com isso aumenta a utilização de aço, elevando assim o custo da obra. No caso do Brasil, esse limite está entre vinte e vinte e quatro andares (STEINMETZ, 2018).

O Brasil consegue produzir estruturas bem mais altas que outras partes do mundo em razão da vantagem de não precisar dimensionar edificações em condições de terremoto, o que reduz bastante a quantidade de aço. Com isso, o sistema construtivo consegue ter alto potencial econômico e tecnológico decorrente da racionalização,

industrialização e padronização que são tão enraizados ao mesmo. A sua simplicidade favorece muito a execução e aumenta a velocidade construtiva, o que diminui ainda mais os custos. As edificações que resultam desse sistema apresentam excelente desempenho em relação às necessidades socioeconômicas e condições climáticas existentes no país.

Mas, apesar disso, ainda existem vários fenômenos ligados a esse sistema estrutural que tem potencial para causar patologias nas paredes estruturais e que não são levados em consideração no dimensionamento, um desses é o efeito arco que ocorre em paredes apoiadas sobre vigas, que ao deformarem-se provocam um aumento de tensões na parte da parede situada próximo aos apoios das vigas. Esse efeito é muito mais pronunciado nas alvenarias estruturais devido ao fato da parede possuir uma carga muito maior que as não estruturais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho consiste em realizar um projeto técnico em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, dimensionando um edifício de cinco pavimentos conforme recomendações da ABNT NBR 15961-1:2011 e realizar uma análise comparativa quando considerado a influência do efeito arco sobre as paredes do segundo pavimento, já que esse é o único pavimento apoiado diretamente sobre as vigas e conseqüentemente apresenta um efeito arco mais pronunciado.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Realizar o lançamento estrutural do edifício em questão.
- b) Efetuar o levantamento das cargas permanentes e variáveis da edificação.
- c) Estudar, analisar, calcular e distribuir entre as paredes as ações horizontais e verticais a qual o edifício possa estar sujeito;
- d) Efetuar dimensionamento a compressão e verificação de cisalhamento, flexo-compressão, flexo-tração e estabilidade da edificação.
- e) Incluir no dimensionamento o efeito arco e analisar seus efeitos sobre as paredes estruturais.

3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Mesmo com a inegável importância do setor da construção para a economia do país e constante pressão para que se adote uma forma mais eficiente de execução, o mesmo constitui um dos únicos setores que não teve industrialização e evolução na forma que é executada, apresentando ainda uma forte resistência quanto a mudanças nos processos construtivos. Apesar da grande evolução nos materiais de construção a fabricação ainda é predominantemente artesanal. A alvenaria estrutural constitui-se como uma ótima oportunidade de tornar mais produtivo o setor, apresentando vantagem em relação a velocidade de execução e conseqüente redução dos custos, soma-se isso a possibilidade de racionalização oferecida pelo sistema o que o transforma em ecologicamente correto devido a diminuição dos resíduos.

Devido ao tema não ser tão abordado, o dimensionamento ainda é feito de forma bastante simplificada, desconsiderando-se várias ocorrências sobre o sistema. Para melhorar ainda mais a sua eficiência é preciso realizar o dimensionamento com modelos matemáticos que se aproximem mais da realidade e possibilitem analisar um número maior de variáveis, evitando assim o aparecimento de fissuras e outras patologias em um futuro próximo. Também é bastante comum o assentamento de paredes sobre vigas de concreto armado o que permite a construção de estacionamentos no primeiro pavimento, mas a interação entre paredes e vigas pode ocasionar o aparecimento do efeito arco, sendo capaz de acarretar patologias.

Embora o efeito arco possa ser bastante prejudicial para a alvenaria a ABNT NBR 15961-1:2011 não leva tal efeito em consideração no dimensionamento dos edifícios, constituindo os trabalhos acadêmicos a única fonte para os projetistas que desejam levar tal parâmetro em consideração. Além disso, os poucos trabalhos disponíveis analisam paredes isoladas por diferentes métodos de resolução, havendo a necessidade de uma análise mais global. Desta forma existem vários métodos bastante aproximados, mas não é possível encontrar dados do impacto de tal parâmetro quando levado em consideração em um projeto técnico.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Histórico da Alvenaria Estrutural

4.1.1 No Mundo

A alvenaria estrutural trata-se de um dos métodos construtivos mais antigos usados pela humanidade e remonta a períodos mesmo antes da invenção da escrita. Praticamente todas as grandes civilizações da antiguidade realizaram suas construções usando esse sistema, sendo comum o uso de blocos formados por grandes rochas (FLORES, 2018).

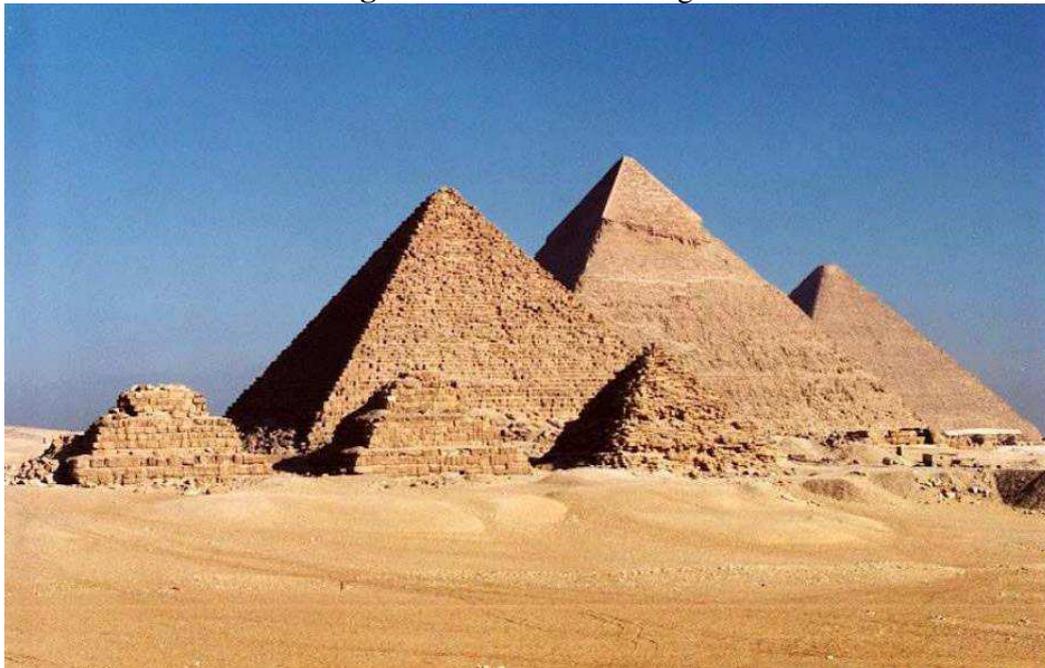
De acordo com Parsekian et al. (2014), as formas da arquitetura empregada na época proporcionavam que as estruturas trabalhassem praticamente apenas a compressão. Nesse sistema, a aceleração gravitacional garantia a estabilidade da estrutura, apesar de usual era um sistema com grande gasto de material.

Ainda é possível encontrar exemplares das construções dessa parte da história em obras como o Coliseu de Roma, Pirâmides do Egito e o Parthenon, como podem ser observadas na Figura 1, Figura 2 e Figura 3.

Figura 1 - Coliseu de Roma



Fonte: Garraffoni (2004).

Figura 2 – Pirâmides do Egito

Fonte: Beck (2010).

Figura 3 – Parthenon

Fonte: Pereira (2013).

Mas com o advento da revolução industrial e o surgimento de novos materiais de construção a alvenaria estrutural não conseguiu competir e foi entrando em declínio, até que sua prática passou a ser pouco utilizada. Um marco foi a construção do Monadnock Building, Figura 4, que constitui um dos últimos edifícios construídos que seguiu a mesma forma usada a milhares de anos, concluído em 1983 conta com 17 pavimentos e paredes no térreo com 1,8 m de espessura (SILVA et al., 2018).

Figura 4 - Monadnock Building

Fonte: Viana (2013).

Até os anos 50 praticamente todas as construções usaram o concreto armado como sistema estrutural. A partir dos anos 60 a alvenaria estrutural volta a ser executada, segundo Mohamad et al. (2017), experimentos em escala real de edifícios construídos em alvenaria estrutural de cinco andares foram desenvolvidos pela Universidade de Edimburgh tendo como responsáveis os Hendry e Sinha. Os resultados ocasionaram novos critérios para dimensionamento e elaboração de projetos, a partir de modelos e testes de edifícios em escala real, assim como o surgimento de novas normas.

Segundo Neto et al. (2015), a alvenaria estrutural trata-se de um processo construtivo no qual as paredes desempenham a função estrutural, ou seja, são autoportantes. Dessa forma fica incumbida de levar as cargas impostas sobre a edificação as fundações. Diferenciando-se, portanto, da alvenaria convencional, na qual esta é utilizada somente como elemento de vedação. Na alvenaria estrutural, a resistência depende unicamente das unidades de alvenaria argamassadas que podem ser compostas por blocos de concreto, blocos cerâmicos ou, ainda, de tijolos cerâmicos maciços, sendo necessário todos terem elevada capacidade resistente à compressão. Essas unidades

devem unir-se e agir como uma combinação íntegra para resistir aos esforços de compressão e, de acordo com a conveniência do projeto, podem ser usadas barras de aço, estas, se ligando à alvenaria por graute, para resistir a esforços de tração e propiciar maior homogeneidade ao conjunto.

Para ser projetado de forma eficiente e como resultado atingir um desempenho satisfatório da edificação, a alvenaria estrutural deve ser compreendido como processo construtivo racionalizado, projetado, calculado e construído para suportar o peso da edificação e cargas adicionais respeitando-se os métodos de cálculo e as normas existentes, sendo possível assim atingir funcionalidade com segurança e grande economia.

A racionalização pode ser entendida como um processo que transforma o canteiro de obras praticamente em uma linha de montagem, com grande planejamento atingindo assim alto nível de desempenho com a construção sendo feita com projetos altamente integrados, com simplificação da instalação da parte elétrica e hidráulica, reduzindo bastante o tempo de execução (HOFFMANN et al., 2012).

Segundo Silva et al (2018), foi durante a década de 90 que ocorreu uma grande procura por parte dos envolvidos com a alvenaria estrutural pela normatização, paralelamente a um aumento de pesquisas relacionadas ao tema. Também foi possível contemplar seu uso em construções de médio padrão com alvenaria armada, onde foi viável construir até 24 pavimentos, assim como alvenaria não armada com construções de até 13 pavimentos, bem como sua aplicação em muros de arrimo o início da alvenaria protendida. Também foi a partir de então que surgiram blocos mais resistentes e com melhores dimensões, tornando-se assim um sistema capaz de competir com os convencionais e levar vantagem, principalmente econômica, considerando construções de até 12 pavimentos.

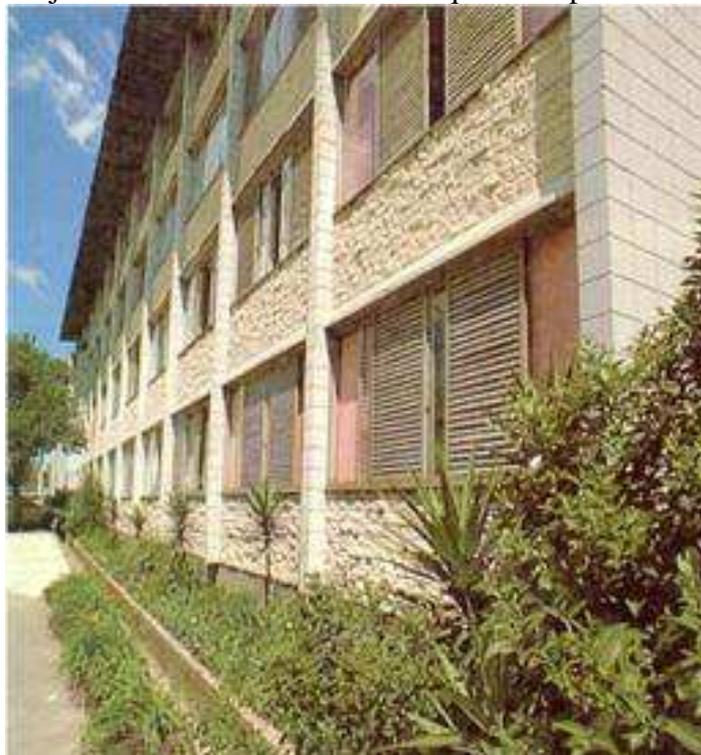
4. 1.2. No Brasil

Apesar de ser usada desde o descobrimento do país, seu processo era o mesmo empregado no restante do mundo, ou seja, feito de modo empírico, sem critérios de segurança e economicamente desfavorável (SÁNCHEZ, 2013).

Segundo Steinmetz (2018), foi apenas no final dos anos 60 que a alvenaria estrutural surgiu como uma técnica de construção, usando blocos de concreto em alvenaria armada. Tal técnica pode ser observada na construção do Central Parque Lapa, Figura 5, em 1966 que conta com 4 pavimentos e paredes de 19 cm, esse conjunto

habitacional foi um dos primeiros construído no Brasil com alvenaria armada. Em 1972 no mesmo local foram construídos novos edifícios com 12 pavimentos utilizando o mesmo sistema estrutural conforme observado na Figura 6.

Figura 5 - Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa Concluído em 1966



Fonte: Fonte: Pinheiro (2018).

Figura 6 - Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa Concluído em 1972



Fonte: Pinheiro (2018).

Em 1989 surgiu a ABNT NBR 10837:1989 que constituía a primeira norma brasileira a tratar sobre dimensionamento em alvenaria estrutural, fixando as condições de exigência para projetos. E posteriormente substituída pela ABNT NBR 15961-1:2011.

Nesse contexto de melhorias nos tipos de materiais e processos construtivos, foi possível qualificar como se constrói, dessa forma aumentando resistividade e facilitando a manutenção. Juntamente a este fato, a evolução dos cálculos estruturais, as inserções de softwares e evolução das normas técnicas agregou rumo ao sucesso dos edifícios de grande porte como o Carolina Pellicciari (Figura 7).

Figura 7 - Edifício Carolina Pellicciari



Fonte: Santana (2017).

4.2 Vantagens e Desvantagens

Como todo sistema construtivo, a alvenaria estrutural apresenta seus prós e contras, dentre as vantagens pode-se destacar: grande limpeza no canteiro de obras, significativa redução da quantidade de aço utilizada se comparado ao concreto armado, redução no uso de formas de madeira, diminuição de resíduos gerados se comparado com as estruturas de concreto armado, considerável diminuição do tempo necessário para sua execução uma vez que é realizada a estrutura e vedação ao mesmo tempo, facilidade de compatibilização dos projetos, redução de custos e diminuição do número de trabalhadores (STEINMETZ, 2018).

De acordo com Silva et al. (2017) as fôrmas podem representar até 40% do custo de estruturas em concreto armado como é possível observar no Quadro 1, ainda conclui que a estrutura representa 20% do custo da edificação, logo é possível afirmar que racionalizar ou otimizar as formas pode representar uma economia de 8% apenas com formas em uma obra, além dessa economia com fôrmas soma-se a redução dos custos com instalações e mão de obra.

Quadro 1 – Economia conseguida com o uso da alvenaria estrutural quando comparado com os sistemas convencionais.

Características da construção	Redução dos custos (%)
Quatro pavimentos	25 a 30
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria não armada	20 a 25
Sete pavimentos sem pilotis, com alvenaria armada	15 a 20
Sete pavimentos com pilotis	12 a 20
Doze pavimentos sem pilotis	10 a 15
Doze pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	8 a 12
Dezoito pavimentos com pilotis, térreo e subsolo em concreto armado	4 a 6

Fonte: Sánchez (2013).

Quanto às desvantagens tem-se que: não é permitido improvisações durante a execução, impossibilidade de mudança de função uma vez que não é possível fazer remoção de paredes e conjuntos muito esbeltos assim como grandes vãos e balanços são desaconselhados. Pereira et al. (2015) cauciona também a possibilidade de aparecimento de fissuras, embora se espere que esse tipo de patologia diminua com a adoção dos estados limites.

4.3 Bloco

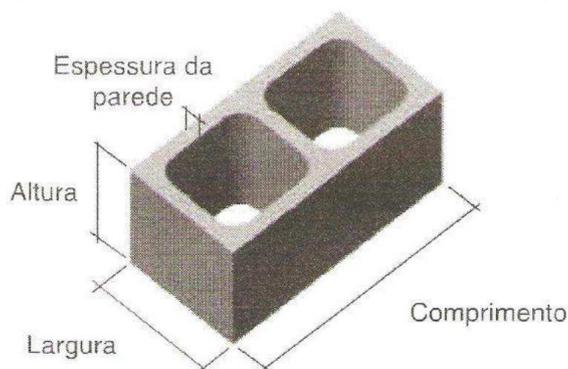
O bloco constitui a unidade básica da alvenaria seja com ou sem função estrutural, sendo fundamental que seja produzido com controle adequado de qualidade de modo a atender especificações da ABNT NBR 6136:2014 para que se tenha construções respeitando-se os padrões de qualidade.

“Bloco vazado de concreto simples: componente para execução de alvenaria, com ou sem função estrutural, vazado nas faces superior e inferior, cuja área líquida é igual ou inferior a 75 % da área bruta.” (ABNT NBR 6136, 2014, p. 16).

É possível encontrar no mercado inúmeras opções de blocos e tijolos como o exemplo da Figura 8, com diferentes atributos: materiais, dimensões, disposição de furo, textura e várias outras atribuições físicas e mecânicas, com larga faixa de resistência aos esforços de compressão, porosidades, capilaridades, absorção de água, coeficientes de absorção e dilatação térmica. Estão em produção três tipos diferentes de blocos de concreto vazados, são: blocos arquitetônicos que visam atender a fachadas e acabamentos

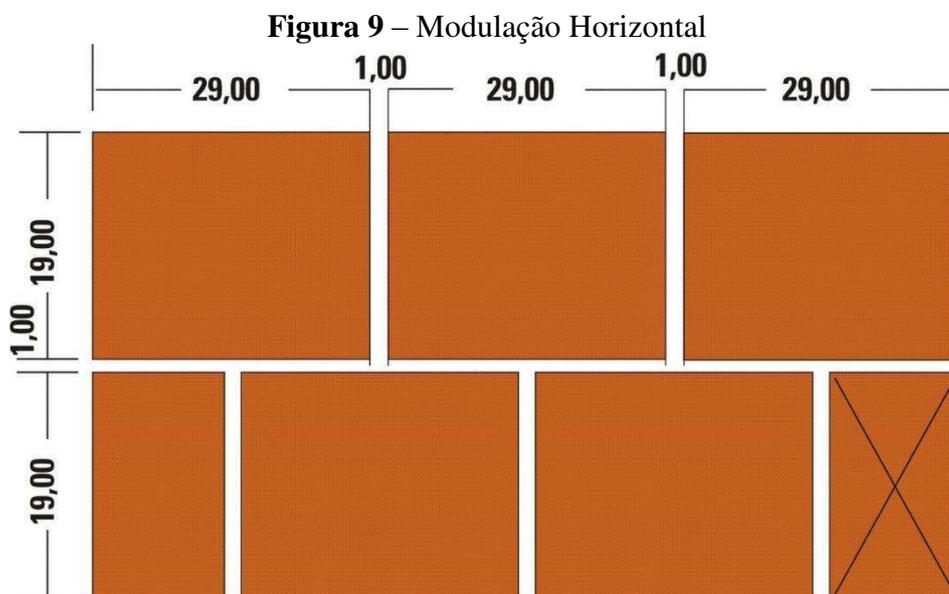
internos; blocos de vedação fabricados apenas com resistência para atender as solicitações de vedação e blocos estruturais que possibilitam a construção de paredes capazes de resistir aos esforços sofridos pela edificação (FILHO, 2007).

Figura 8 – Bloco Vazado de Concreto Simples



Fonte: ABNT NBR 6136:2014.

Segundo Steinmetz (2018), os blocos mais usados no Brasil são os de 14x19x29 (cm) conhecidos como família 29, que são executados com juntas de argamassa com 1 cm o que gera unidades modulares com 20 cm como mostrado na Figura 9.



Fonte: Acervir (2019).

4.4 Compatibilização de Projetos

As construções em alvenaria estrutural contêm partes constituintes que desempenham papel tanto estrutural como arquitetônico. Logo, é possível concluir que

não são permitidos rasgos em paredes estruturais, visto que compromete a segurança da estrutura como um todo (MACHADO, 2015).

Segundo Camacho (2006), devido à grande dependência entre todos os projetos que constituem a obra (arquitetônico, estrutural e instalações) tem-se a necessidade que tais projetos sejam compatíveis para que a construção possa desempenhar as funções para as quais foi projetada, pois a parede desempenha função estrutural, mas também de vedação e é onde são colocadas as instalações. Dito isto, é de extrema importância que o projeto seja racionalizado como um todo, de modo a não ocorrer improvisos na hora da execução. Assim, a coordenação de projetos é a atividade em que o responsável pelo projeto deverá analisar os projetos complementares e verificar se não existe incompatibilidade entre os mesmo.

Entretanto essa compatibilização é mais simples de ser projetada e executada, pois existe a possibilidade de passar as instalações elétricas por dentro dos furos já existentes nos blocos, conforme Figura 10 e 11, e existem blocos especiais, Figura 12, com abertura para passar as instalações que contenham fluídos uma vez que a norma proíbe a passagem de tais instalações por dentro dos blocos.

Figura 10 – Colocação dos Eletrodutos por Dentro dos Blocos



Fonte: Mohamad et al. (2015).

Figura 11 – Execução de alvenaria estrutural em blocos de concreto



Fonte: Trisul Incorporadora (2017).

Figura 12 – Blocos Especiais para Instalações



Fonte: Santana (2017).

4.5 Argamassa para Assentamento

“Argamassa para assentamento em alvenaria estrutural constitui a ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento, com função estrutural” (ABNT NBR 13281, 2006, p. 7).

De acordo com Machado e Antunes (2015), as argamassas mistas, que levam a mistura de cal encarregada de aumentar a trabalhabilidade, e o cimento responsável pelo aumento da resistência a compressão são as mais recomendadas para o assentamentos dos blocos de concreto. Sendo assim, desempenha importante função de corrigir possíveis imperfeições dos blocos, garantir a aderência entre os blocos, absorver pequenos deslocamentos da estrutura, proteger contra agentes que possam causar danos e ser de grande importância na resistência ao cisalhamento.

Logo, argamassas com baixa resistência a compressão não são indicadas uma vez que não garantem a solidarização da estrutura, assim como as que apresentam elevada resistência não conseguem absorver deslocamentos, contribuindo assim para o aumento

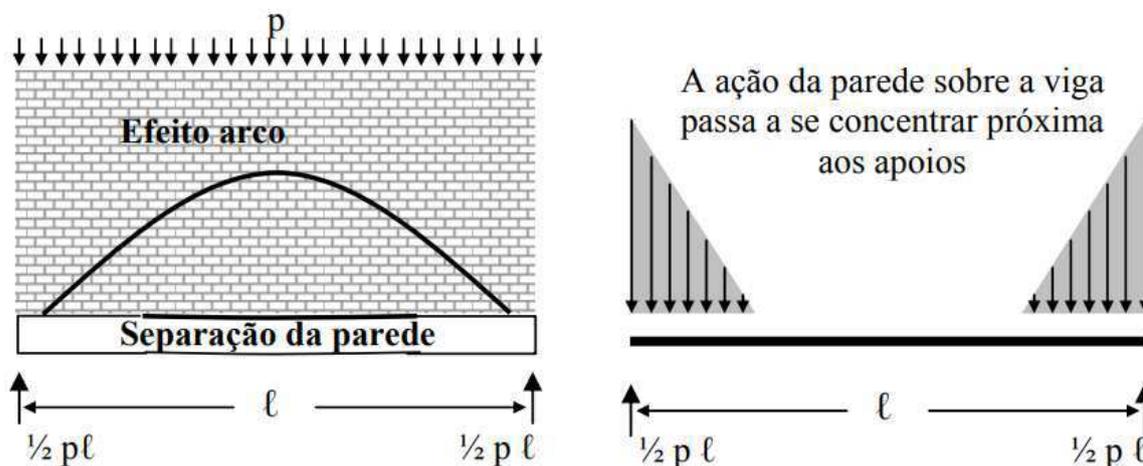
da fissuração. O que a ABNT NBR 15961-1:2011 recomenda é uma argamassa com cerca de 70% da resistência adotada para o bloco.

4.5 Efeito Arco

Capraro (2017) reitera que em edifícios que utilizam o sistema construtivo de alvenaria estrutural, no qual as paredes não persistem até a fundação, a exemplo edifícios com pilotis ou subsolos, existe a necessidade de um pavimento de transição, usualmente com estrutura em concreto armado. Nesta alteração, derivado da dissimilitude de rigidez entre os elementos suportes, ocorre um acúmulo de tensões em algumas regiões da alvenaria e uma atenuação nos esforços solicitantes das vigas.

De acordo com Carvalho (2007), a volta dos sistemas em alvenaria estrutural para construção de edifícios trouxe consigo o problema da interação entre parede e viga. Os estudos desenvolvidos por Wood em 1952 possibilitaram entender que as paredes trabalham em conjunto com as vigas sobre as quais estão apoiadas, no momento em que as vigas se deformam devido ao carregamento imposto pela parede faz com que a carga que atuava sobre a viga antes distribuída passe a se concentrar nos apoios como esquematizado na Figura 13.

Figura 13: O efeito arco nas paredes de alvenaria.



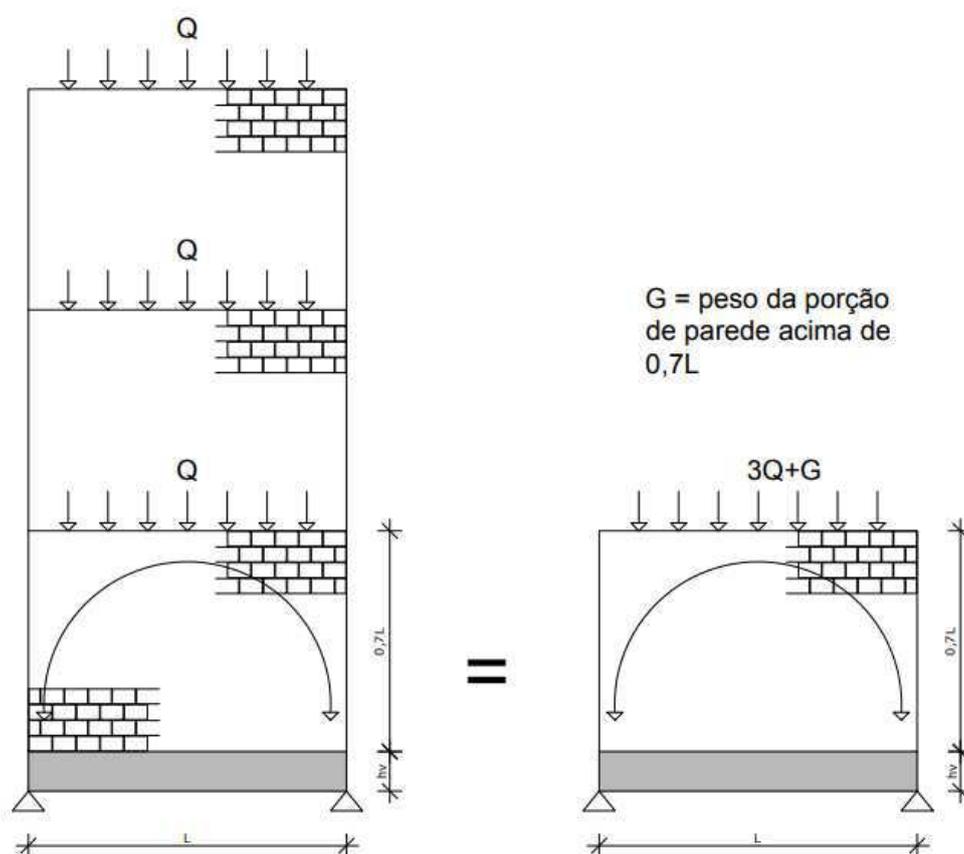
Fonte: Carvalho (2007).

Paes (2008) afirma que o efeito arco é importante no momento em que se deseja realizar a análise da interação que existe entre a parede estrutural e a estrutura que serve de suporte. Assim é possível entender uma parede estrutural que se apoia em uma viga trabalhando na forma de um arco atirantado. Sendo o arco formado na parede e a viga

funcionado como um tirante o que gera influências para a transferência de carga vertical. Parte das cargas que se encontravam no centro do vão encaminha-se para o elemento de apoio o que acarreta uma diminuição dos momentos fletores e ocasionando nos extremos das paredes uma concentração de tensões.

Riddington e Smith (1978), em seus estudos apresentam uma relação entre o vão e altura da viga e o comprimento da parede que sofrerá com o arqueamento como é possível observar na Figura 14 e na Equação 4.1, a formação do arco é mais pronunciado em paredes mais rígidas e vigas com uma menor rigidez.

Figura 14: Porção da parede com formação do efeito arco.



Fonte: Adaptado de Barbosa (2000).

Para o cálculo da rigidez relativa Riddington e Smith (1978) desenvolveram uma equação de forma simplificada para o cálculo (Equação 4.1).

$$K = \sqrt[4]{\frac{E_p * t_p * L^3}{E_v * I_v}} \quad 4.1$$

Na qual E_p , tp e L constituem o módulo de elasticidade, a espessura e o comprimento da parede, respectivamente, e E_v e I_v o módulo de elasticidade e o momento de inércia da viga.

De acordo com Paes (2008), em estruturas com rigidez relativa elevada, implica uma ocorrência do efeito arco bastante relevante. Schüssler (2012), ao utilizar uma malha de elementos finitos e comparar seus resultados com os obtidos no modelo de Riddington e Smith, obteve resultados próximos aos das equações.

Capraro (2017) verificou comportamento similar aos encontrados por Riddington e Smith, com um significativo acúmulo de tensões na região de apoio das vigas. Na parede conseguiu visualizar uma distribuição de tensões semelhante a um arco. Concluiu também que a altura das paredes não desempenha papel significativo na formação de tal fenômeno, o que também já tinham sido descrito.

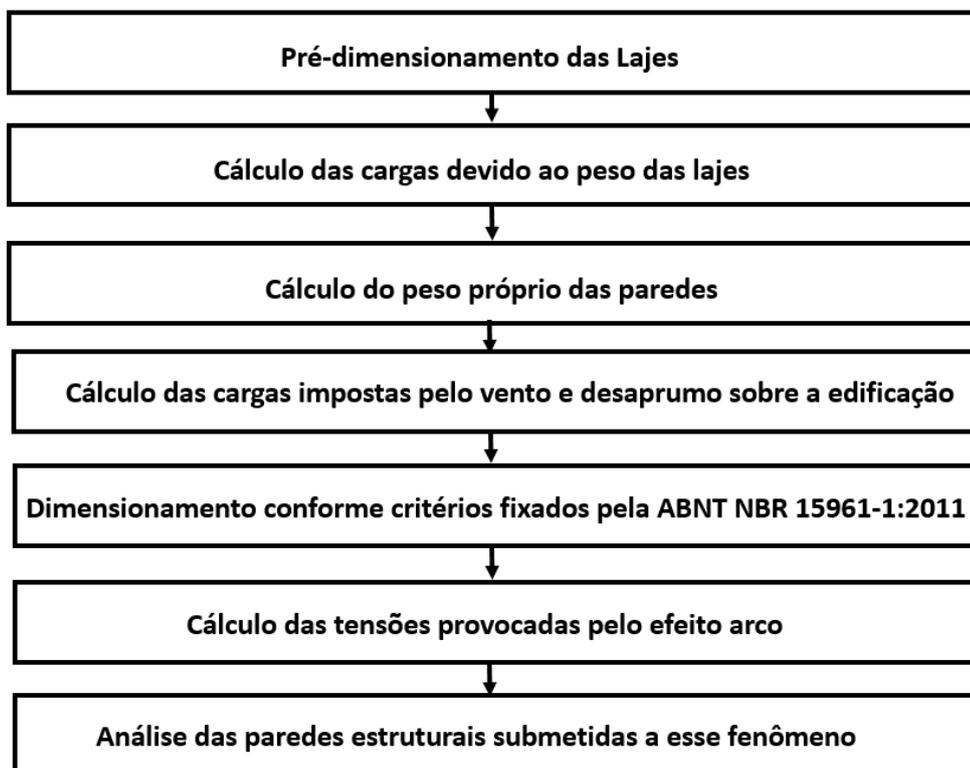
Kleingesinds (2014) afirma que em estruturas de alvenaria apoiando-se sobre apoios discretos, as cargas provenientes das paredes acabam migrando diretamente em direção aos apoios. Ocasionalmente o efeito arco, contradizendo a hipótese usual que é adotada nos escritórios de projeto estrutural, afirmando que as cargas chegam as vigas de forma distribuídas.

Segundo Carvalho e Roman (2008), o efeito de arqueamento é sobretudo um rearranjo das forças da estrutura e o fenômeno pode levar a manifestações patológicas, ocasionadas principalmente devido à grande concentração de forças compressivas nas paredes perto dos apoios das vigas e redução considerável de tensões no meio do vão. Mesmo que falte traquejo por parte da engenharia esse fenômeno deve ser combatido em projeto.

5. METODOLOGIA

Na Figura 15 é apresentado um fluxograma de elaboração do projeto que tem a finalidade de mostrar resumidamente o que será desenvolvido em todo o trabalho, contribuindo tanto para a compreensão do mesmo como a sua reprodução.

Figura 15 - Fluxograma para elaboração do projeto



Fonte: Autor (2019).

Para o dimensionamento foi verificado os requisitos exigidos pela ABNT NBR 15961-1:2011, adotando o Estado Limite Último e Estado Limite de Serviço. O pré-dimensionamento das lajes foi realizado seguindo as recomendações da ABNT NBR 6118:2014 que trata sobre projeto de estruturas de concreto e o levantamento das cargas que as lajes exercem sobre as paredes estruturais.

Em seguida sucedeu-se com o levantamento das cargas verticais e horizontais baseando-se na ABNT NBR 6120:2019 e ABNT NBR 6123:1988. Esta fase refere-se ao levantamento das cargas permanentes e variáveis que atuam sobre a estrutura.

Uma vez conhecidas as cargas horizontais foi possível distribuí-las entre as paredes estruturais de acordo com sua rigidez.

A etapa seguinte foi o dimensionamento da alvenaria à compressão. Uma vez efetuado o cálculo de compressão é possível conhecer a resistência necessária dos blocos

em cada pavimento. Procedendo com os cálculos, verificou-se se as paredes suportam os esforços de cisalhamento e flexão.

Posteriormente foi realizada a distribuição de tensões nas paredes e vigas provocadas pela deformação das vigas que servem de apoio às paredes estruturais, analisando as possíveis implicações dessa mudança de tensões durante a vida útil da estrutura para que não surjam patologias capazes de afetar a utilização da mesma.

6. ANÁLISE ESTRUTURAL

6.1 Dados do Edifício

O projeto arquitetônico do edifício em questão foi cedido pela arquiteta Herllange Chaves de Brito, construído na Avenida Mar Negro, SN, Intermars, Cabedelo - PB em concreto armado. O mesmo foi construído em um terreno com área de 461,25 m², tendo uma área construída de 906,75 m², área da projeção de 230,61 m², taxa de ocupação de 50% e índice de aproveitamento de 1,96.

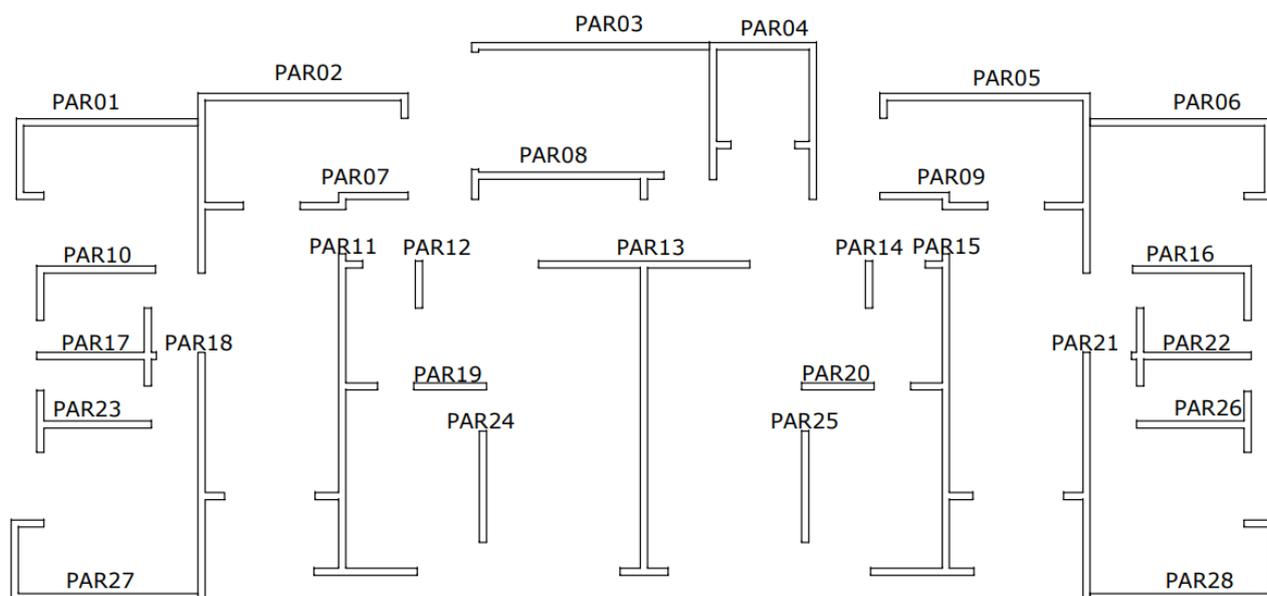
O projeto sofreu alterações em relação às forças do vento e algumas dimensões de paredes para que possa ser construído na cidade de Pombal – Paraíba em alvenaria estrutural.

Decidiu-se usar os blocos da família 14x19x39 já que é uma das mais utilizados no Brasil e a que mais se adapta as espessuras das paredes com 15 cm sugeridos no projeto arquitetônico (14 cm de bloco com 0,5 cm de revestimento em cada lado, espessura de revestimento essa usual em paredes de alvenaria estrutural).

Como se observa nas plantas presentes no anexo B, o edifício possui 5 pavimentos. O primeiro pavimento trata-se de uma garagem e por isso optou-se por deixar essa parte em concreto armado já que não é muito vantajoso economicamente vencer grandes vãos em alvenaria estrutural. O segundo, terceiro, quarto e quinto trata-se de pavimento tipo e o sexto trata-se de uma área de lazer na laje, portanto, sem paredes a dimensionar, apenas considerar tais cargas.

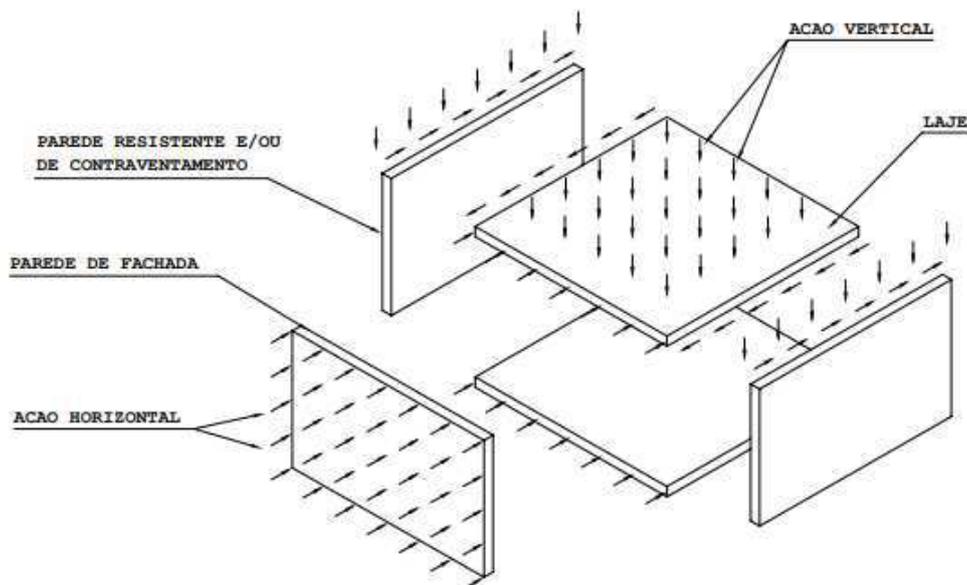
Segundo Ramalho e Corrêa (2008), o sistema estrutural mais adequado a edificações de plantas mais gerais é o de paredes celulares que considera que todas as paredes tem função estrutural, proporcionando assim apoiar as lajes nas duas extremidades se assim for necessário. Também apresenta a vantagem de ser um sistema com grande rigidez por isso é largamente usado.

Para o dimensionamento foram adotadas todas as paredes como estruturais, com exceção das que continham portas e janelas que foram consideradas como carga adicional.

Figura 16 - Paredes estruturais

Fonte: Autor (2019).

Reboredo (2013) afirma que, em edifícios que usam o sistema de alvenaria estrutural, as paredes resistentes trabalham de forma combinada com as lajes compondo um sistema estrutural com formato de caixa sujeito às ações verticais (carga permanente e acidental) e horizontais (força do vento e desaprumo).

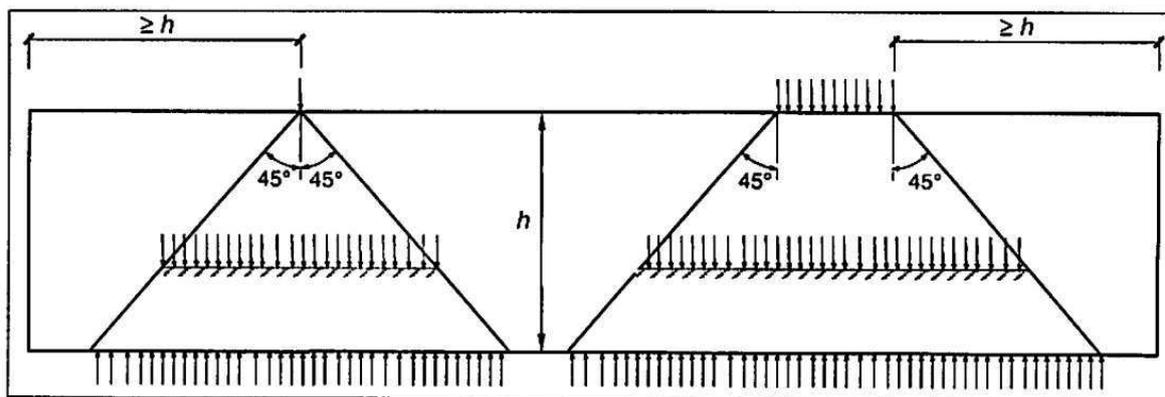
Figura 17 – Funcionamento do sistema estrutural em alvenaria estrutural

Fonte: Camacho (2006).

6.2 Ações Verticais

As cargas verticais em uma edificação dependem principalmente de sua utilização e materiais que a constituem. Essas cargas podem ser obtidas na ABNT NBR 6120:2019 que trata das cargas para cálculo de estruturas de edificações. Cargas concentradas devem ser dissipadas seguindo um ângulo de espraio de 45° , conforme as recomendações da ABNT NBR 15961-1:2011.

Figura 18 – Dispersão de ações verticais



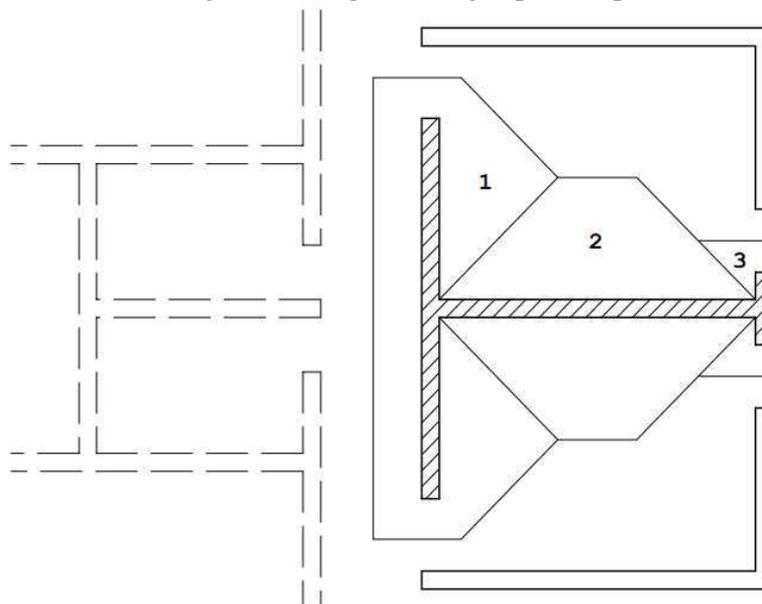
Fonte: ABNT NBR 15961-1:2011.

6.2.1 Cargas das Lajes

As lajes são maciças de concreto armado e foram pré-dimensionadas considerando as cargas permanente: sobrecarga de 2 KN/m^2 , revestimento 1 KN/m^2 ($0,5 \text{ KN/m}^2$ do forro de gesso e $0,5 \text{ KN/m}^2$ do revestimento cerâmico do piso) e peso próprio de 2 KN/m^2 (espessura de 8 cm) de acordo com a ABNT NBR 6120:2019. Todo esse peso das lajes é transmitido então para as paredes que servirão de apoio.

Para a distribuição das cargas laje-parede se usa a área de laje que cada parede deve suportar de acordo com sua geometria em que se aplica ângulos de 45° entre as paredes e divide-se por dois os carregamentos sobre vãos. Como ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Distribuição das cargas das lajes para as paredes resistentes

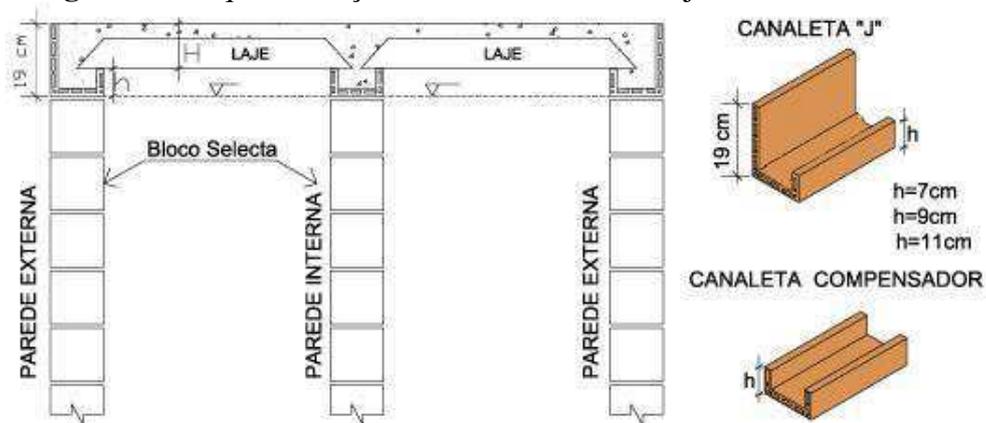


Fonte: Camacho (2006).

6.2.2 Modulação Vertical

Existem duas formas de fazer a modulação vertical com os blocos de 19 cm de altura, sempre mantendo a altura como múltipla de 20 cm e usando os blocos canaletas em J ou em U. No caso das canaletas em J são mais indicadas para paredes externas possibilitando trabalhar com lajes de 8 cm, 10 cm ou 12 cm, já as canaletas em U, também chamadas de compensadoras são mais indicadas para paredes internas. Como esquematizado na Figura 20.

Figura 20: Esquematização do assentamento de lajes sobre as canaletas



Fonte: Selecta (2019).

Como esquematizado na Figura 16 a edificação conta com 28 paredes estruturais que devem suportar todas as cargas provenientes das lajes, seguindo o modelo da Figura

19 foi possível obter a área de laje que cada parede tem que sustentar, sendo assim multiplicada pela carga e em seguida distribuída ao longo de seu comprimento. O Quadro 2 apresenta as 28 paredes estruturais assim como as cargas impostas pelas lajes, vale ressaltar que a PAR03 não recebe cargas, pois encontra-se entre o foço do elevador e a escadas cargas essas que foram consideradas separadamente.

Quadro 2 - Carga das lajes sobre as paredes

Parede	Comprimento (m)	Área de Laje (m ²)	Carga (KN)	Distribuída (KN/m)
PAR01	5,40	5,595	27,975	5,181
PAR02	8,75	13,120	65,600	7,497
PAR03	4,70	-	-	-
PAR04	8,15	5,409	27,045	3,318
PAR05	8,75	13,120	65,600	7,497
PAR06	5,40	5,595	27,975	5,181
PAR07	2,31	4,369	21,845	9,457
PAR08	4,61	6,195	30,975	4,610
PAR09	2,31	4,369	21,845	9,457
PAR10	3,25	4,264	21,320	6,560
PAR11	9,62	18,102	90,510	9,408
PAR12	0,93	4,010	20,050	21,559
PAR13	10,98	32,953	164,765	15,006
PAR14	0,93	4,010	20,050	21,559
PAR15	9,62	18,102	90,510	9,408
PAR16	3,25	4,264	21,320	6,560
PAR17	3,73	4,316	21,580	5,786
PAR18	5,27	10,727	53,635	10,177
PAR19	1,42	4,198	20,990	14,782
PAR20	1,42	4,198	20,990	14,782
PAR21	5,27	10,727	53,635	10,177
PAR22	3,73	4,316	21,580	5,786
PAR23	3,32	5,013	25,065	7,550
PAR24	2,19	8,802	44,010	20,096

Parede	Comprimento (m)	Área de Laje (m ²)	Carga (KN)	Distribuída (KN/m)
PAR25	2,19	8,802	44,010	20,096
PAR26	3,32	5,013	25,065	7,550
PAR27	5,60	5,871	29,355	5,242
PAR28	5,60	5,871	29,355	5,242

Fonte: Autor (2019)

6.2.3 Peso da Escada, Casa de Máquinas e Caixa de Água

- Carga das Escadas

Para a escada adotou-se carga de revestimento de 1,00 KN/m² e carga de utilização de 3,00 KN/m² apesar da edificação possuir elevador o que possibilitaria adotar 2,50 KN/m² essa escolha deve-se ao fato de a escada não ter sido dimensionada e sim adotado uma espessura.

Para o peso próprio adotou-se uma espessura de 12 cm para a escada, uma vez que a mesma será executada em concreto armado e o dimensionamento deste não ser foco do trabalho.

$$PP = \left(h + \frac{e}{2} \right) * \gamma_{ca} \quad (6.1)$$

$$PP = \left(0,12 + \frac{0,18}{2} \right) * 25 = 5,25 \text{KN/m}^2$$

Na qual:

γ_{ca} é o peso específico do concreto armado;

h a espessura da escada;

e o espelho.

$$Carga\ Total = PP + Revestimento + Utilização \quad (6.2)$$

$$Carga\ Total = 5,25 + 1,00 + 3,00 = 9,25 \text{KN/m}^2$$

- Carga do Elevador

A ABNT NBR 6120:2019 estabelece carga para a casa de maquinas de 7,5 KN/m² já para a laje considerou-se uma espessura de 10 cm ficando assim com 2,5 KN/m² e 1,0 KN/m² de carga de revestimento.

$$Carga\ Total = CM + Laje + Revestimento \quad (6.3)$$

$$Carga\ Total = 7,5 + 2,5 + 1,0 = 11,00\ KN/m^2$$

- Carga da Caixa de água

O projeto traz uma altura de lâmina de 1,5 m, para a laje adotou-se uma altura de 10 cm e uma carga de revestimento de 1,0 KN/m² já para a cobertura da caixa adotou-se 2,5 KN/m² e 1,0 KN/m² devido a possibilidade de empoçamento da água da chuva.

$$Carga\ devido\ o\ peso\ da\ agua = 1,5 * 10 = 15\ KN/m^2$$

$$Carga\ da\ laje\ e\ revestimento = 0,10 * 25 + 1,0 = 3,5\ KN/m^2$$

$$Carga\ cobertura\ da\ caixa = 2,5 + 1,0 = 3,5\ KN/m^2$$

$$Carga\ Total = 15 + 3,5 + 3,5 = 22,0\ KN/m^2$$

- Peso próprio da alvenaria

A alvenaria foi dividida em paredes externas e internas sendo que se considerou um revestimento de 0,5 cm na parte interna da edificação e 3,0 cm na parte externa. Assim procedeu-se o cálculo das cargas. Onde considerou-se 19 KN/m³ o peso específico da argamassa e 14 KN/m³ para o bloco de concreto.

Paredes externas:

$$Blocos = 14 * 0,14 = 1,96\ KN/m^2$$

$$Argamassa\ interna = 19 * 0,01 = 0,20\ KN/m^2$$

$$Argamassa\ externa = 19 * 0,03 = 0,57\ KN/m^2$$

$$Carga\ Total = 1,96 + 0,20 + 0,57 = 2,73\ KN/m$$

Paredes internas:

$$Blocos = 14 * 0,14 = 1,96\ KN/m^2$$

$$Argamassa\ interna = 19 * 0,01 = 0,20\ KN/m^2$$

$$Argamassa\ interna = 19 * 0,01 = 0,20\ KN/m^2$$

$$Carga\ Total = 1,96 + 0,20 + 0,20 = 2,36\ KN/m^2$$

6.3 Ações Horizontais

6.3.1 Desaprumo

Conforme especificações da ABNT NBR 15961-1:2011, o ângulo de desaprumo é inversamente proporcional à altura da edificação, sendo dado pela fórmula 6.4.

$$\varphi = \frac{1}{100\sqrt{H}} \quad (6.4)$$

Na qual:

φ é o ângulo em radianos e H é a altura da edificação em metros.

Como o edifício em questão tem 21,21 metros de altura, é possível calcular o desaprumo em radianos simplesmente substituindo essa altura na fórmula.

$$\varphi = \frac{1}{100\sqrt{21,21}} = 0,002171 \quad (6.5)$$

Conhecendo-se o ângulo de desaprumo e o peso total do edifício, obtido a partir do levantamento das cargas verticais, é possível obter a parcela que vai agir horizontalmente partir de trigonometria simples, como o ângulo é pequeno o seno do ângulo pode ser admitido como sendo o próprio φ .

$$\text{sen}\varphi \cong \varphi \quad (6.6)$$

$$F = P * \text{sen}\varphi \quad (6.7)$$

Em que:

P é o peso da edificação no pavimento em questão

Assim, ficamos com:

$$F = P * \varphi = 2525,7 * 0,002171 = 5,483 \text{ KN}$$

6. 3. 2 Ações do Vento Segundo a ABNT NBR 6123:1988

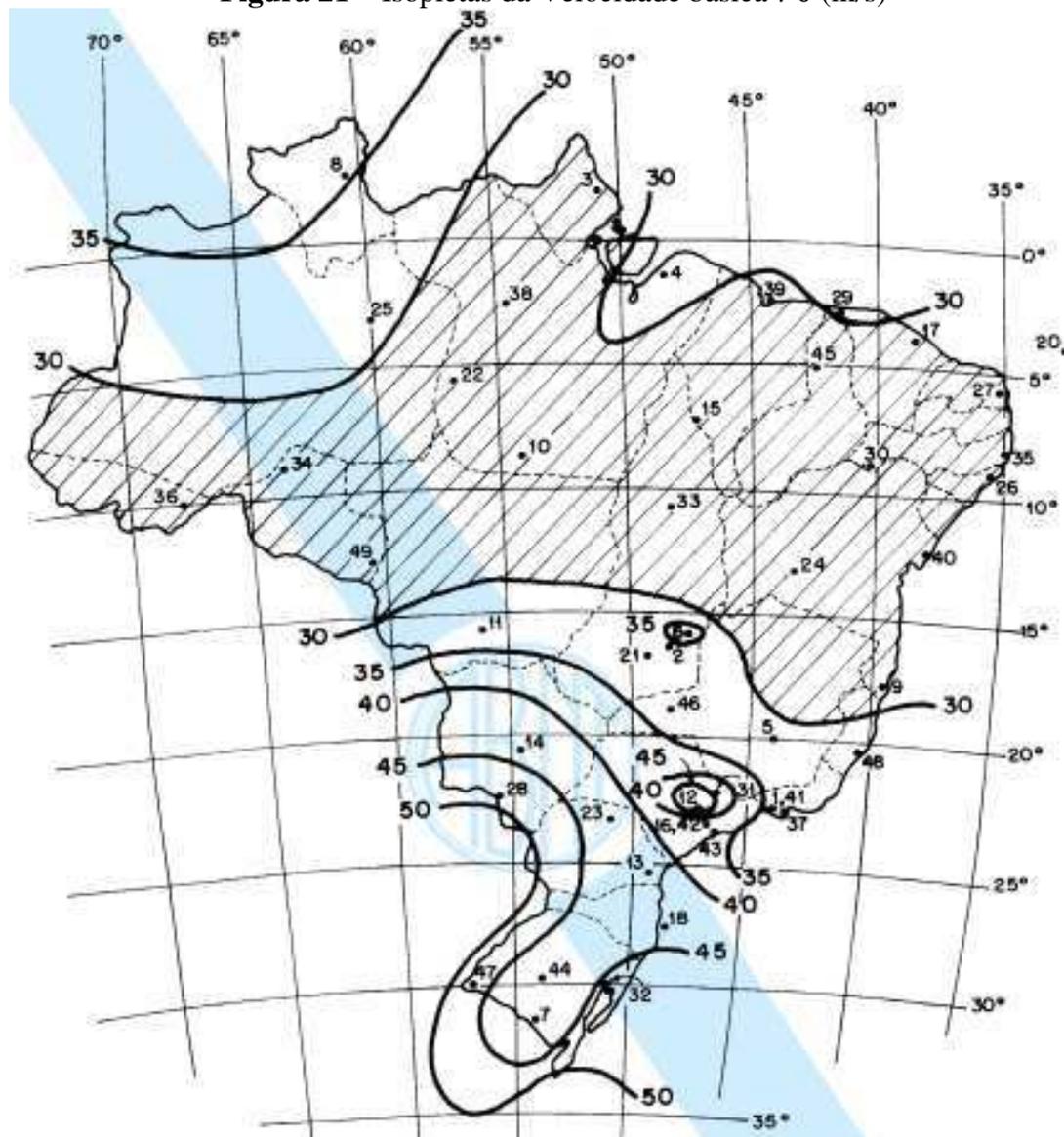
O vento constitui um importante critério para que seja possível a realização do projeto, mesmo em áreas onde a ação não é tão relevante, por não atuar de forma visível no objeto projetado, a ação do mesmo está presente diariamente de forma continua afetando a estabilidade da estrutura e deformando-a (NASCIMENTO et al., 2016).

Para o cálculo das cargas de vento deve-se considerar o mesmo incidindo de forma frontal e também lateral a edificação. Desta forma segue-se o cálculo da pressão dinâmica do vento.

- Velocidade básica do vento

A velocidade básica foi obtida com base na Figura 21 da ABNT NBR 6123:1988 que trata sobre forças devidas ao vento em edificações. Onde é possível notar que a construção está situada em uma região onde a velocidade básica do vento é 30 m/s.

Figura 21 – Isopletas da Velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123:1988.

- Velocidade Característica (V_k)

$$V_k = S_1 * S_2 * S_3 * V_0 \quad (6.8)$$

Na qual:

S_1 o fator topográfico,

S_2 é o fator de rugosidade do terreno e dimensões da edificação e

S_3 constitui o fator estatístico.

Conforme o item 5.2.a da ABNT NBR 6123:1988 S_1 vale 1,0.

Foi considerado um terreno com poucos obstáculos enquadrando-se assim na categoria III conforme item 5.3.2 da ABNT NBR 6123:1988. Já a classe depende das

dimensões da edificação e conforme o item 5.3.2 da ABNT NBR 6123:1988 edificações com dimensões máximas entre 20 e 50 metros devem ser enquadradas na classe B.

$$S2 = b * Fr * \left(\frac{Z}{10}\right)^p \quad (6.9)$$

Sendo,

Z a altura da edificação,

b, Fr e p são parâmetros meteorológicos que podem ser logrados na tabela 1 da referida NBR.

$$S2 = 0,94 * 0,98 * \left(\frac{21,21}{10}\right)^{0,105} = 0,997$$

O fator estatístico S3 está ligado ao uso da edificação e ao fato de um eventual desastre servi de abrigo para os sobreviventes, como se trata de um residencial de acordo como a tabela 3 da ABNT NBR 6123:1988 devesse adotar o mesmo com valor 1,0.

Assim é possível calcular a velocidade característica:

$$Vk = 1,0 * 0,997 * 1,0 * 30 = 29,91 \text{ m/s}$$

Pressão dinâmica q, que é calculada a partir da velocidade característica obtida na equação:

$$q = 0,6138Vk^2 \quad (6.10)$$

$$q = 548,39 \text{ KN/m}^2$$

Determinação dos coeficientes de pressão e forma, externos, para as paredes laterais e frontais. Sendo: o coeficiente a o menor lado da construção, b o maior e h a altura.

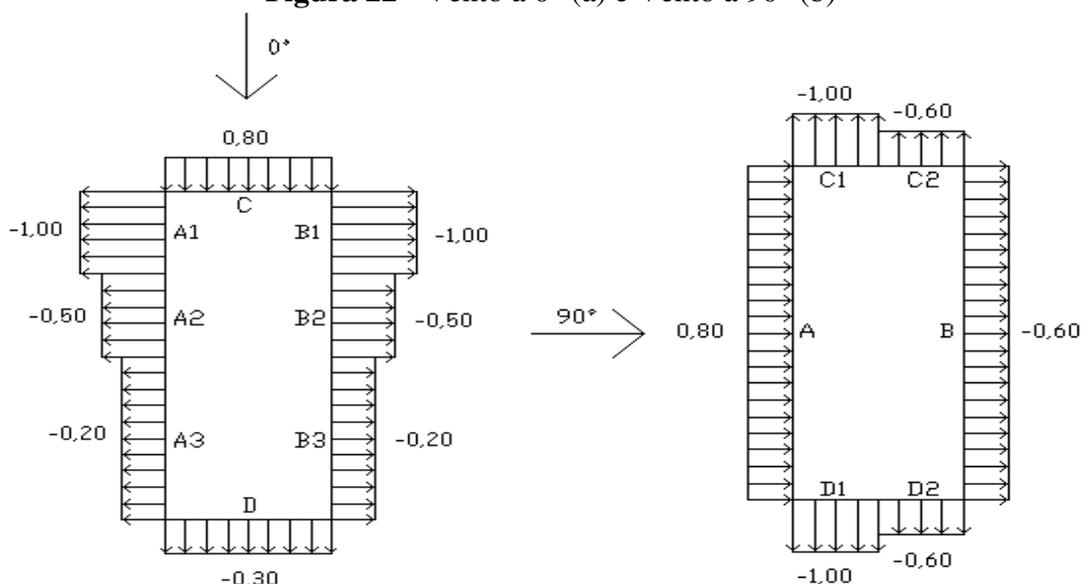
a = 24,75 m, b = 11,00 m, h = 21,21 m

h/b= 1,93, a/b = 2,25

Quadro 3 – Valores de Ce

$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				Cpe médio
A1 e B1	A2 e B2	C	D	A	B	C1 e D1	C2 e D2	
-1	-0,5	0,8	-0,3	0,8	-0,6	-1	-0,6	-1,2

Fonte: Elaboração própria com base na ABNT NBR 6123: 1988.

Figura 22 - Vento a 0° (a) e Vento a 90° (b)

Fonte: Autor (2019).

- Forças do vento em cada pavimento

$$F_v = C_a \cdot q \cdot A_p \quad (6.11)$$

Em que,

C_a é o coeficiente de arrasto;

q constitui a pressão dinâmica;

A_p é a área de incidência dessa rajada.

O Quadro 4 e 5 esquematizam as forças devidas ao vento, respectivamente na direção X e Y que incidem sobre o primeiro, segundo, terceiro e quarto pavimento.

Quadro 4: Forças do vento na direção X (0°).

Pavimento	C_a	q (KN/m ²)	A_p (m ²)	F_{vx} (KN)
PV1, PV2, PV3 e PV4	0,80	0,54839	31,500	13,819

Fonte: Autor (2019).

Quadro 5: Forças do vento na direção Y (90°).

Pavimento	C_a	q (KN/m ²)	A_p (m ²)	F_{vy} (KN)
PV1, PV2, PV3 e PV4	0,80	0,54839	71,725	31,467

Fonte: Autor (2019).

De acordo com Parsekian e Soares (2010), no caso de edifícios baixo (com até seis pavimentos) em alvenaria estrutural com paredes bem distribuídas o modelo que

considera as paredes em balanço sem levar em conta os efeitos de torção é suficiente para representar a realidade.

7. DIMENSIONAMENTO

7.1 Distribuição das Ações Horizontais

Vieira et al., (2014) asseguram que, usando o método das paredes isoladas para a verificação da absorção dos efeitos horizontais do vento e desaprumo, atuantes na direção de simetria do residencial, considera-se a rigidez das paredes na direção perpendicular aos efeitos. Sendo a força horizontal em cada parede diretamente proporcional a sua rigidez.

$$\Delta i = \Delta f + \Delta c = \frac{Hp^3}{3EI} + \frac{cHp}{GA} \quad (7.1)$$

Sendo:

Δf : Deslocamento devido a flexão;

Δc : Deslocamento devido aos esforços cortantes;

Hp : Altura da parede;

E : Módulo de elasticidade longitudinal da parede;

I : Momento de inércia da parede;

c : Fator corretivo de cisalhamento, adotado como 1,2 para seções retangulares;

G : Módulo de elasticidade diagonal da parede;

A : Área da seção diagonal da parede.

Segundo Reboredo (2013), em paredes de grande altura ocorre a predominância do deslocamento provocado pela flexão, já em paredes baixas a parcela que domina é a devido aos esforços cortantes. Assim, calculou-se a rigidez relativa de cada parede em cada direção (Ri) para assim distribui-se os esforços tanto na direção Y (Fyi) como em X (Fxi).

$$Ri = \frac{1}{\Delta i} \quad (7.2)$$

$$Fxi = Fax \frac{Ryi}{\sum Ryi} \quad (7.3)$$

$$Fyi = Fay \frac{Rxi}{\sum Rxi} \quad (7.4)$$

7.1.2 Teorema dos Eixos Paralelos

Segundo Hibbeler (2005), quando o momento de inércia de uma peça passa pelo centroide da mesma torna-se útil usar o teorema dos eixos paralelos:

$$I_x = I_x' + Ady^2 \quad (7.5)$$

$$I_y = I_y' + Adx^2 \quad (7.6)$$

Foram calculadas as propriedades geométricas das 28 paredes como mostrado no Quadro 6, com o intuito de obter os momentos de inércia para usar na distribuição de cargas horizontais.

Quadro 6 - Propriedades geométricas das paredes

Parede	Área (m ²)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)
PAR01	0,756	0,205	0,988
PAR02	1,205	1,472	2,288
PAR03	0,659	0,001	1,211
PAR04	1,142	1,010	0,885
PAR05	1,205	1,472	2,288
PAR06	0,756	0,205	0,988
PAR07	0,323	0,004	0,111
PAR08	0,645	0,009	0,950
PAR09	0,323	0,004	0,111
PAR10	0,455	0,037	0,256
PAR11	1,347	5,678	0,165
PAR12	0,130	0,009	0,000
PAR13	1,537	7,717	0,833
PAR14	0,130	0,009	0,000
PAR15	1,347	5,678	0,165
PAR16	0,455	0,037	0,256
PAR17	0,522	0,046	0,272
PAR18	0,738	1,372	0,005
PAR19	0,199	0,000	0,033
PAR20	0,199	0,000	0,033
PAR21	0,738	1,372	0,005
PAR22	0,522	0,046	0,272
PAR23	0,465	0,022	0,244
PAR24	0,307	0,123	0,001
PAR25	0,307	0,123	0,001

Parede	Área (m ²)	Ix (m ⁴)	Iy (m ⁴)
PAR26	0,465	0,022	0,244
PAR27	0,784	0,224	1,072
PAR28	0,784	0,224	1,072

Fonte: Autor (2019).

Após o cálculo das propriedades geométricas, foi possível efetuar a distribuição das cargas entre as paredes estruturais como esquematizado nos Quadros 7 e 8. As paredes 01 e 02, 03 e 04, 05 e 06, 18 e 27 bem como as 21 e 28 constituíam paredes únicas, mas devido a rigidez muito elevada acabavam absorvendo grande parte das ações horizontais. Por isso foram separadas e unidas por amarração indireta.

Quadro 7 - Distribuição das ações horizontais na direção Y

Parede	Hp (m)	Ix (m ⁴)	E (MPa)	G (MPa)	C	A (m ²)	Δ	R	Rrelativa	Fy (KN)
PAR01	3	0,205	25625,6	10677,333	1,2	0,756	0,001017	983,228	0,033	1,206
PAR02	3	1,472	25625,6	10677,333	1,2	1,205	0,000359	2782,921	0,092	3,414
PAR03	3	0,001	25625,6	10677,333	1,2	0,659	0,117582	8,505	0,000	0,010
PAR04	3	1,01	25625,6	10677,333	1,2	1,142	0,000411	2432,201	0,081	2,984
PAR05	3	1,472	25625,6	10677,333	1,2	1,205	0,000359	2782,921	0,092	3,414
PAR06	3	0,205	25625,6	10677,333	1,2	0,756	0,001017	983,228	0,032	1,206
PAR07	3	0,004	25625,6	10677,333	1,2	0,323	0,030311	32,991	0,001	0,040
PAR08	3	0,009	25625,6	10677,333	1,2	0,645	0,013531	73,907	0,002	0,091
PAR09	3	0,004	25625,6	10677,333	1,2	0,323	0,030311	32,991	0,001	0,040
PAR10	3	0,037	25625,6	10677,333	1,2	0,455	0,003905	256,077	0,008	0,314
PAR11	3	5,678	25625,6	10677,333	1,2	1,347	0,000271	3691,062	0,123	4,528
PAR12	3	0,009	25625,6	10677,333	1,2	0,13	0,015601	64,097	0,002	0,079
PAR13	3	7,717	25625,6	10677,333	1,2	1,537	0,000235	4263,761	0,142	5,231
PAR14	3	0,009	25625,6	10677,333	1,2	0,13	0,015601	64,097	0,002	0,079
PAR15	3	5,678	25625,6	10677,333	1,2	1,347	0,000271	3691,062	0,123	4,528
PAR16	3	0,037	25625,6	10677,333	1,2	0,455	0,003905	256,077	0,008	0,314
PAR17	3	0,046	25625,6	10677,333	1,2	0,522	0,003191	313,390	0,010	0,384
PAR18	3	1,372	25625,6	10677,333	1,2	0,738	0,000542	1844,377	0,061	2,263

Parede	Hp (m)	Ix (m ⁴)	E (MPa)	G (MPa)	C	A (m ²)	Δ	R	Rrelativa	Fy (KN)
PAR19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAR20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAR21	3	1,372	25625,6	10677,333	1,2	0,738	0,000542	1844,377	0,061	2,263
PAR22	3	0,046	25625,6	10677,333	1,2	0,522	0,003191	313,390	0,010	0,384
PAR23	3	0,022	25625,6	10677,333	1,2	0,465	0,006046	165,386	0,005	0,203
PAR24	3	0,123	25625,6	10677,333	1,2	0,307	0,002050	487,795	0,016	0,598
PAR25	3	0,123	25625,6	10677,333	1,2	0,307	0,002050	487,795	0,016	0,598
PAR26	3	0,022	25625,6	10677,333	1,2	0,465	0,006046	165,386	0,005	0,203
PAR27	3	0,224	25625,6	10677,333	1,2	0,784	0,000953	1049,659	0,035	1,288
PAR28	3	0,224	25625,6	10677,333	1,2	0,784	0,000953	1049,659	0,035	1,288

Fonte: Autor (2019).

Quadro 8 - Distribuição das ações horizontais na direção X

Parede	Hp (m)	Iy (m ⁴)	E (MPa)	G (MPa)	C	A (m ²)	Δ	R	Rrelativa	Fx (KN)
PAR01	3	0,988	25625,600	10677,333	1,2	0,756	0,000564	1771,558	0,058	1,128
PAR02	3	2,288	25625,600	10677,333	1,2	1,205	0,000331	3021,419	0,100	1,924
PAR03	3	1,211	25625,600	10677,333	1,2	0,659	0,000608	1643,924	0,054	1,047
PAR04	3	0,885	25625,600	10677,333	1,2	1,142	0,000428	2339,062	0,077	1,490
PAR05	3	2,288	25625,600	10677,333	1,2	1,205	0,000331	3021,419	0,100	1,924
PAR06	3	0,988	25625,600	10677,333	1,2	0,756	0,000564	1771,558	0,058	1,128
PAR07	3	0,111	25625,600	10677,333	1,2	0,323	0,002099	476,523	0,016	0,303
PAR08	3	0,950	25625,600	10677,333	1,2	0,645	0,000646	1548,071	0,051	0,986
PAR09	3	0,111	25625,600	10677,333	1,2	0,323	0,002099	476,523	0,016	0,303
PAR10	3	0,256	25625,600	10677,333	1,2	0,455	0,001198	834,499	0,028	0,531
PAR11	3	0,165	25625,600	10677,333	1,2	1,347	0,000960	1041,857	0,034	0,663
PAR12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAR13	3	0,833	25625,600	10677,333	1,2	1,537	0,000360	2778,511	0,092	1,769
PAR14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PAR15	3	0,165	25625,600	10677,333	1,2	1,347	0,000960	1041,857	0,034	0,663
PAR16	3	0,256	25625,600	10677,333	1,2	0,455	0,001198	834,499	0,028	0,531
PAR17	3	0,272	25625,600	10677,333	1,2	0,522	0,001076	929,099	0,031	0,592

Parede	Hp (m)	Iy (m ⁴)	E (MPa)	G (MPa)	C	A (m ²)	Δ	R	Rrelativa	Fx (KN)
PAR18	3	0,005	25625,600	10677,333	1,2	0,738	0,023871	41,892	0,001	0,027
PAR19	3	0,033	25625,600	10677,333	1,2	0,199	0,005242	190,771	0,006	0,121
PAR20	3	0,033	25625,600	10677,333	1,2	0,199	0,005242	190,771	0,006	0,121
PAR21	3	0,005	25625,600	10677,333	1,2	0,738	0,023871	41,892	0,001	0,027
PAR22	3	0,272	25625,600	10677,333	1,2	0,522	0,001076	929,099	0,031	0,592
PAR23	3	0,244	25625,600	10677,333	1,2	0,465	0,001205	829,959	0,027	0,529
PAR24	3	0,001	25625,600	10677,333	1,2	0,307	0,118169	8,462	0,000	0,005
PAR25	3	0,001	25625,600	10677,333	1,2	0,307	0,118169	8,462	0,000	0,005
PAR26	3	0,244	25625,600	10677,333	1,2	0,465	0,001205	829,959	0,027	0,529
PAR27	3	1,072	25625,600	10677,333	1,2	0,784	0,000539	1854,386	0,061	1,181
PAR28	3	1,072	25625,600	10677,333	1,200	0,784	0,000539	1854,386	0,061	1,181

Fonte: Autor (2019).

7.2 Dimensionamento a Compressão das Paredes

$$\frac{\gamma f \cdot Nk}{A} \leq \frac{0,7 \cdot f_{pk}}{\gamma m} \cdot \left[1 - \left(\frac{hef}{40tef} \right)^2 \right] \quad (7.7)$$

Sendo,

Nk a carga distribuída sobre a parede dado em KN/m;

γf o coeficiente de majoração da carga sendo que a norma manda adotar 1,4 para o mesmo;

γm o coeficiente de minoração da resistência do prisma disponível na norma, possuindo valor 2,0;

hef a altura efetiva da parede sendo 300 cm para o edifício em questão;

tef a espessura efetiva da parede constituindo 14 cm;

A a área bruta da seção transversal em m²; e

f_{pk} a resistência a compressão da parede que geralmente é o que se deseja conhecer.

Ainda podemos citar o valor de 0,7 que constitui um fator de redução para a resistência da parede em relação ao prisma que geralmente só consegue alcançar 70 % da resistência oferecida pelo prisma.

Substituindo os valores na equação e isolando o f_{pk} encontra-se a resistência do do prisma e então relaciona-se essa resistência com a do bloco, sendo que o prisma consegue aproveitar 80 % da resistência do bloco. Em seguida adota-se os valores comerciais para blocos estruturais.

Optou-se por usar blocos de mesma resistência para paredes do mesmo andar, de modo a facilitar a execução e evitar possíveis erros com capacidade para afetar a estabilidade da estrutura. Sendo assim elegeu-se 4 MPa para o quarto e terceiro pavimento como mostrado no Quadro 9 e 10 e 6 MPa para o segundo pavimento como é possível observar no Quadro 11.

Quadro 9 – Dimensionamento a compressão (Quarto Pavimento)

Parede	A (m^2)	γ_f	γ_m	Nk (KN/m)	h_{ef} (cm)	t_{ef} (cm)	f_{pk} (MPa)	f_{bk} (MPa)	f_{bk} adotado (MPa)
PAR01	0,14	1,4	2,0	13,371	300	14	0,451	0,662	4
PAR02	0,14	1,4	2,0	15,687	300	14	0,530	0,662	4
PAR03	0,14	1,4	2,0	61,438	300	14	2,074	2,593	4
PAR04	0,14	1,4	2,0	48,406	300	14	1,634	2,043	4
PAR05	0,14	1,4	2,0	15,687	300	14	0,530	0,662	4
PAR06	0,14	1,4	2,0	13,371	300	14	0,451	0,564	4
PAR07	0,14	1,4	2,0	16,537	300	14	0,558	0,698	4
PAR08	0,14	1,4	2,0	47,810	300	14	1,614	2,018	4
PAR09	0,14	1,4	2,0	16,537	300	14	0,558	0,698	4
PAR10	0,14	1,4	2,0	13,640	300	14	0,460	0,576	4
PAR11	0,14	1,4	2,0	28,639	300	14	0,967	1,208	4
PAR12	0,14	1,4	2,0	28,639	300	14	0,967	1,208	4
PAR13	0,14	1,4	2,0	22,086	300	14	0,746	0,932	4
PAR14	0,14	1,4	2,0	28,639	300	14	0,967	1,209	4
PAR15	0,14	1,4	2,0	16,488	300	14	0,557	0,696	4
PAR16	0,14	1,4	2,0	13,640	300	14	0,460	0,576	4
PAR17	0,14	1,4	2,0	12,866	300	14	0,434	0,543	4
PAR18	0,14	1,4	2,0	17,257	300	14	0,583	0,728	4
PAR19	0,14	1,4	2,0	21,862	300	14	0,738	0,923	4
PAR20	0,14	1,4	2,0	21,862	300	14	0,738	0,923	4

Parede	A (m^2)	γf	γm	Nk (KN/m)	hef (cm)	tef (cm)	fpk (MPa)	fbk (MPa)	fbk adotado (MPa)
PAR21	0,14	1,4	2,0	17,257	300	14	0,583	0,728	4
PAR22	0,14	1,4	2,0	12,866	300	14	0,434	0,543	4
PAR23	0,14	1,4	2,0	14,630	300	14	0,494	0,617	4
PAR24	0,14	1,4	2,0	27,176	300	14	0,918	1,147	4
PAR25	0,14	1,4	2,0	27,176	300	14	0,918	1,147	4
PAR26	0,14	1,4	2,0	14,630	300	14	0,494	0,617	4
PAR27	0,14	1,4	2,0	13,420	300	14	0,453	0,567	4
PAR28	0,14	1,4	2,0	13,420	300	14	0,453	0,567	4

Fonte: Autor (2019).

Quadro 10 – Dimensionamento a compressão (Terceiro Pavimento)

Parede	A (m^2)	γf	γm	Nk (KN/m)	hef (cm)	tef (cm)	fpk (MPa)	fbk (MPa)	fbk adotado (MPa)
PAR01	0,14	1,4	2,0	26,742	300	14	0,903	1,129	4
PAR02	0,14	1,4	2,0	31,374	300	14	1,059	1,324	4
PAR03	0,14	1,4	2,0	81,088	300	14	2,738	3,422	4
PAR04	0,14	1,4	2,0	61,534	300	14	2,078	2,597	4
PAR05	0,14	1,4	2,0	31,374	300	14	1,059	1,324	4
PAR06	0,14	1,4	2,0	26,724	300	14	0,903	1,129	4
PAR07	0,14	1,4	2,0	33,074	300	14	1,117	1,396	4
PAR08	0,14	1,4	2,0	70,950	300	14	2,395	2,994	4
PAR09	0,14	1,4	2,0	33,074	300	14	1,117	1,396	4
PAR10	0,14	1,4	2,0	27,280	300	14	0,921	1,151	4
PAR11	0,14	1,4	2,0	57,278	300	14	1,934	2,417	4
PAR12	0,14	1,4	2,0	57,278	300	14	1,934	2,417	4
PAR13	0,14	1,4	2,0	44,172	300	14	1,491	1,864	4
PAR14	0,14	1,4	2,0	57,278	300	14	1,934	2,417	4
PAR15	0,14	1,4	2,0	32,976	300	14	1,113	1,392	4
PAR16	0,14	1,4	2,0	27,280	300	14	0,921	1,151	4
PAR17	0,14	1,4	2,0	25,732	300	14	0,869	1,086	4
PAR18	0,14	1,4	2,0	34,514	300	14	1,165	1,457	4
PAR19	0,14	1,4	2,0	43,724	300	14	1,476	1,845	4

Parede	A (m^2)	γf	γm	Nk (KN/m)	hef (cm)	tef (cm)	fpk (MPa)	fbk (MPa)	fbk adotado (MPa)
PAR20	0,14	1,4	2,0	43,724	300	14	1,476	1,845	4
PAR21	0,14	1,4	2,0	34,514	300	14	1,165	1,457	4
PAR22	0,14	1,4	2,0	25,732	300	14	0,869	1,086	4
PAR23	0,14	1,4	2,0	29,260	300	14	0,988	1,235	4
PAR24	0,14	1,4	2,0	54,352	300	14	1,835	2,294	4
PAR25	0,14	1,4	2,0	54,352	300	14	1,835	2,294	4
PAR26	0,14	1,4	2,0	29,260	300	14	0,988	1,125	4
PAR27	0,14	1,4	2,0	26,864	300	14	0,907	1,134	4
PAR28	0,14	1,4	2,0	26,864	300	14	0,907	1,134	4

Fonte: Autor (2019).

Quadro 11 – Dimensionamento a compressão (Segundo Pavimento)

Parede	A (m^2)	γf	γm	Nk (KN/m)	hef (cm)	tef (cm)	fpk (MPa)	fbk (MPa)	fbk adotado (MPa)
PAR01	0,14	1,4	2,0	40,133	300	14	1,354	1,693	6
PAR02	0,14	1,4	2,0	47,061	300	14	1,589	1,986	6
PAR03	0,14	1,4	2,0	100,738	300	14	3,401	4,251	6
PAR04	0,14	1,4	2,0	74,662	300	14	2,521	3,151	6
PAR05	0,14	1,4	2,0	47,061	300	14	1,589	1,986	6
PAR06	0,14	1,4	2,0	40,113	300	14	1,354	1,693	6
PAR07	0,14	1,4	2,0	49,611	300	14	1,675	2,094	6
PAR08	0,14	1,4	2,0	94,090	300	14	3,177	3,971	6
PAR09	0,14	1,4	2,0	49,611	300	14	1,675	2,094	6
PAR10	0,14	1,4	2,0	40,920	300	14	1,382	1,727	6
PAR11	0,14	1,4	2,0	85,917	300	14	2,901	3,626	6
PAR12	0,14	1,4	2,0	85,917	300	14	2,901	3,626	6
PAR13	0,14	1,4	2,0	66,258	300	14	2,237	2,796	6
PAR14	0,14	1,4	2,0	85,917	300	14	2,901	3,626	6
PAR15	0,14	1,4	2,0	49,464	300	14	1,670	2,088	6
PAR16	0,14	1,4	2,0	40,920	300	14	1,382	1,727	6
PAR17	0,14	1,4	2,0	38,598	300	14	1,303	1,629	6
PAR18	0,14	1,4	2,0	51,771	300	14	1,748	2,185	6
PAR19	0,14	1,4	2,0	65,586	300	14	2,214	2,768	6

Parede	A (m^2)	γ_f	γ_m	Nk (KN/m)	hef (cm)	tef (cm)	f_{pk} (MPa)	f_{bk} (MPa)	f_{bk} adotado (MPa)
PAR20	0,14	1,4	2,0	65,586	300	14	2,214	2,768	6
PAR21	0,14	1,4	2,0	51,771	300	14	1,748	2,185	6
PAR22	0,14	1,4	2,0	38,598	300	14	1,303	1,629	6
PAR23	0,14	1,4	2,0	43,890	300	14	1,482	1,852	6
PAR24	0,14	1,4	2,0	81,528	300	14	2,753	3,441	6
PAR25	0,14	1,4	2,0	81,528	300	14	2,753	3,441	6
PAR26	0,14	1,4	2,0	43,890	300	14	1,482	1,852	6
PAR27	0,14	1,4	2,0	40,296	300	14	1,360	1,701	6
PAR28	0,14	1,4	2,0	40,296	300	14	1,360	1,701	6

Fonte: Autor (2019).

7.3 Resistência ao Cisalhamento

A resistência ao cisalhamento pode ser obtida pela equação de Coulomb.

$$\tau = \tau_0 + \mu\sigma \quad (7.8)$$

Em que,

τ_0 é a parcela inicial de resistência devido a aderência, e

$\mu\sigma$ corresponde ao aumento da resistência devido a pré-tensão da alvenaria, com μ sendo o fator de atrito e σ a compressão causada por 90% das cargas sobre a alvenaria.

A norma também especifica que o fator de atrito μ tenha valor de 0,5.

Quadro 12 - Resistência ao cisalhamento

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

Fonte: ABNT NBR 15961-1.

$$R = \frac{Vk * \gamma_f}{b * d} \leq \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \quad (7.9)$$

Foi verificada a resistência ao cisalhamento apenas do terceiro e quarto pavimentos, pois os mesmos são os mais desfavoráveis uma vez que tem blocos de 4 MPa e a recomendação da ABNT NBR 15961-1 é que as argamassas de assentamento tenham entre 1,5 MPa e 70% da resistência do bloco. Logo, a argamassa de assentamento deve

ter entre 1,5 a 2,8 MPa, enquanto a do segundo pavimento pode ter até 4,2 MPa apresentando assim uma maior resistência ao cisalhamento.

Quadro 13 – Solicitação ao cisalhamento na direção X

Parede	V_k (KN)	γf	b (cm)	d (cm)	R_x (MPa)
PAR01	1,128	1,4	14	409	0,00276
PAR02	1,924	1,4	14	486	0,00396
PAR03	1,047	1,4	14	465	0,00225
PAR04	1,490	1,4	14	264	0,00564
PAR05	1,924	1,4	14	486	0,00396
PAR06	1,128	1,4	14	409	0,00276
PAR07	0,303	1,4	14	211	0,00144
PAR08	0,986	1,4	14	362	0,00272
PAR09	0,303	1,4	14	211	0,00144
PAR10	0,531	1,4	14	232	0,00229
PAR11	0,663	1,4	14	343	0,00193
PAR12	-	-	-	-	-
PAR13	1,769	1,4	14	507	0,00349
PAR14	-	-	-	-	-
PAR15	0,663	1,4	14	343	0,00193
PAR16	0,531	1,4	14	232	0,00229
PAR17	0,592	1,4	14	232	0,00253
PAR18	0,027	1,4	14	52	0,00051
PAR19	0,121	1,4	14	142	0,00086
PAR20	0,121	1,4	14	142	0,00086
PAR21	0,027	1,4	14	52	0,00051
PAR22	0,592	1,4	14	234	0,00253
PAR23	0,528	1,4	14	224	0,00236
PAR24	0,005	1,4	14	14	0,00038
PAR25	0,005	1,4	14	14	0,00038
PAR26	0,528	1,4	14	224	0,00236
PAR27	1,181	1,4	14	429	0,00275
PAR28	1,181	1,4	14	429	0,00275

Fonte: Autor (2019).

Quadro 14 – Resistência ao cisalhamento na direção X

Parede	σ (MPa)	f_{vk} (MPa)	γ_m	$\frac{f_{vk}}{\gamma_m}$ (MPa)
PAR01	0,086	0,143	2,0	0,072
PAR02	0,101	0,150	2,0	0,075
PAR03	0,395	0,297	2,0	0,148
PAR04	0,311	0,256	2,0	0,128
PAR05	0,101	0,150	2,0	0,075
PAR06	0,086	0,143	2,0	0,072
PAR07	0,106	0,153	2,0	0,077
PAR08	0,307	0,254	2,0	0,127
PAR09	0,106	0,153	2,0	0,077
PAR10	0,088	0,144	2,0	0,072
PAR11	0,184	0,192	2,0	0,096
PAR12	-	-	-	-
PAR13	0,142	0,171	2,0	0,086
PAR14	-	-	-	-
PAR15	0,106	0,153	2,0	0,076
PAR16	0,088	0,144	2,0	0,072
PAR17	0,083	0,142	2,0	0,071
PAR18	0,111	0,155	2,0	0,078
PAR19	0,140	0,170	2,0	0,085
PAR20	0,140	0,170	2,0	0,085
PAR21	0,111	0,155	2,0	0,078
PAR22	0,083	0,141	2,0	0,071
PAR23	0,094	0,147	2,0	0,074
PAR24	0,175	0,187	2,0	0,094
PAR25	0,175	0,187	2,0	0,094
PAR26	0,094	0,147	2,0	0,074
PAR27	0,086	0,143	2,0	0,072
PAR28	0,086	0,143	2,0	0,072

Fonte: Autor (2019).

Após análise dos Quadros 13 e 14 é possível concluir que a edificação tem condições de resistir aos esforços de cisalhamento na direção X, sendo que todas as solicitações foram inferiores aos valores da resistência.

Quadro 15 – Solicitação ao cisalhamento na direção Y

Parede	Vk (KN)	γf	b (cm)	d (cm)	Ry (MPa)
PAR01	1,206	1,4	14	159	0,00759
PAR02	3,414	1,4	14	403	0,00847
PAR03	0,010	1,4	14	19	0,00055
PAR04	2,984	1,4	14	579	0,00515
PAR05	3,414	1,4	14	403	0,00847
PAR06	1,206	1,4	14	159	0,00759
PAR07	0,040	1,4	14	34	0,00119
PAR08	0,091	1,4	14	113	0,00080
PAR09	0,040	1,4	14	34	0,00119
PAR10	0,314	1,4	14	107	0,00294
PAR11	4,528	1,4	14	619	0,00732
PAR12	0,079	1,4	14	93	0,00085
PAR13	5,231	1,4	14	619	0,00845
PAR14	0,079	1,4	14	93	0,00085
PAR15	4,528	1,4	14	619	0,00732
PAR16	0,314	1,4	14	107	0,00294
PAR17	0,384	1,4	14	153	0,00251
PAR18	2,263	1,4	14	489	0,00463
PAR19	-	-	-	-	-
PAR20	-	-	-	-	-
PAR21	2,263	1,4	14	489	0,00463
PAR22	0,384	1,4	14	153	0,00251
PAR23	0,203	1,4	14	122	0,00166
PAR24	0,598	1,4	14	219	0,00273
PAR25	0,598	1,4	14	219	0,00273
PAR26	0,203	1,4	14	122	0,00166
PAR27	1,288	1,4	14	159	0,00810
PAR28	1,288	1,4	14	159	0,00810

Fonte: Autor (2019).

Quadro 16 – Resistência ao cisalhamento na direção Y

Parede	σ (MPa)	f_{vk} (MPa)	γm	$\frac{f_{vk}}{\gamma m}$ (MPa)
PAR01	0,086	0,143	2,0	0,071

Parede	σ (MPa)	f_{vk} (MPa)	γ_m	$\frac{f_{vk}}{\gamma_m}$ (MPa)
PAR02	0,101	0,150	2,0	0,075
PAR03	0,395	0,297	2,0	0,148
PAR04	0,311	0,256	2,0	0,128
PAR05	0,101	0,150	2,0	0,075
PAR06	0,086	0,143	2,0	0,071
PAR07	0,106	0,153	2,0	0,077
PAR08	0,307	0,254	2,0	0,127
PAR09	0,106	0,153	2,0	0,077
PAR10	0,088	0,144	2,0	0,072
PAR11	0,184	0,192	2,0	0,096
PAR12	0,184	0,192	2,0	0,096
PAR13	0,142	0,171	2,0	0,085
PAR14	0,184	0,192	2,0	0,096
PAR15	0,106	0,153	2,0	0,076
PAR16	0,088	0,144	2,0	0,072
PAR17	0,083	0,141	2,0	0,071
PAR18	0,111	0,155	2,0	0,078
PAR19	-	-	-	-
PAR20	-	-	-	-
PAR21	0,111	0,155	2,0	0,078
PAR22	0,083	0,141	2,0	0,071
PAR23	0,094	0,147	2,0	0,074
PAR24	0,175	0,187	2,0	0,094
PAR25	0,175	0,187	2,0	0,094
PAR26	0,094	0,147	2,0	0,074
PAR27	0,086	0,143	2,0	0,072
PAR28	0,086	0,143	2,0	0,072

Fonte: Autor (2019).

Diante da análise dos Quadros 15 e 16 foi crível concluir que a edificação tem condições de resistir aos esforços de cisalhamento na direção Y, uma vez que as solicitações foram inferiores aos valores encontrados na resistência.

7.4 Resistência à Flexo-Compressão para Alvenaria não Armada ou com Baixa Taxa de Armadura – ELU

Parsekian (2012), cauciona que assim como ocorre na flexão simples, na flexo-compressão pode ocorrer tanto o estágio I, II e III. Com a revisão da norma fica permitido o cálculo do estágio III. Sendo necessário verificar tanto as máximas tensões de compressão assim como tração quando houver, necessitando confrontar os valores específicos.

Para a compressão máxima verifica-se

$$i: \frac{\gamma f g \cdot \varphi 0 \cdot Q_{acidental} + \gamma f g \cdot G}{R} + \frac{\gamma f q \cdot Q_{vento}}{1,5} \leq \frac{f_k}{\gamma m} \quad (7.10)$$

$$ii: \frac{\gamma f g \cdot \varphi \cdot Q_{acidental} + \gamma f g \cdot G}{R} + \frac{\gamma f q \cdot \varphi \cdot Q_{vento}}{1,5} \leq \frac{f_k}{\gamma m} \quad (7.11)$$

Com:

$f_k = 0,7 f_{pk}$ (relação entre a resistência característica a compressão da parede e do prisma), $\varphi 0 = 0,5$ (*acidental*), $\varphi = 0,6$ (*vento*), $\gamma f q = \gamma f g = 1,4$, $\gamma m = 2,0$

Substituindo-se os termos nas equações 7.10 e 7.11 e isolando-se f_{pk} (resistência do prisma) em ambas as equações tem-se.

$$i: \frac{2,0 \cdot Q_{acidental} + 4,0 \cdot G}{R} + 2,66 \cdot Q_{vento} \leq f_{pk}$$

$$ii: \frac{4,0 \cdot Q_{acidental} + 4,0 \cdot G}{R} + 1,60 \cdot Q_{vento} \leq f_{pk}$$

Como o vento incide de forma diferente em cada direção e a carga permanente é também diferente em cada pavimento, faz-se necessário verificar todas as paredes nas duas direções e em cada pavimento.

Quadro 17 – Flexo-compressão na direção X (quarto pavimento)

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f_{pk} (MPa)
PAR01	0,846	0,066	0,065	3,200
PAR02	0,846	0,079	0,077	3,200
PAR03	0,846	0,293	0,292	3,200
PAR04	0,846	0,233	0,231	3,200
PAR05	0,846	0,079	0,077	3,200
PAR06	0,846	0,066	0,065	3,200
PAR07	0,846	0,079	0,079	3,200
PAR08	0,846	0,229	0,228	3,200

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk} (MPa)
PAR09	0,846	0,079	0,079	3,200
PAR10	0,846	0,066	0,065	3,200
PAR11	0,846	0,137	0,136	3,200
PAR12	0,846	0,135	0,135	3,200
PAR13	0,846	0,109	0,107	3,200
PAR14	0,846	0,135	0,135	3,200
PAR15	0,846	0,080	0,079	3,200
PAR16	0,846	0,066	0,065	3,200
PAR17	0,846	0,062	0,062	3,200
PAR18	0,846	0,082	0,082	3,200
PAR19	0,846	0,104	0,104	3,200
PAR20	0,846	0,104	0,104	3,200
PAR21	0,846	0,082	0,082	3,200
PAR22	0,846	0,062	0,062	3,200
PAR23	0,846	0,071	0,070	3,200
PAR24	0,846	0,128	0,128	3,200
PAR25	0,846	0,128	0,128	3,200
PAR26	0,846	0,071	0,070	3,200
PAR27	0,846	0,067	0,065	3,200
PAR28	0,846	0,067	0,065	3,200

Fonte: Autor (2019).

Quadro 18 – Flexo-compressão na direção X (terceiro pavimento)

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk} (MPa)
PAR01	0,846	0,129	0,128	3,200
PAR02	0,846	0,153	0,151	3,200
PAR03	0,846	0,386	0,385	3,200
PAR04	0,846	0,295	0,293	3,200
PAR05	0,846	0,153	0,151	3,200
PAR06	0,846	0,129	0,128	3,200
PAR07	0,846	0,157	0,157	3,200
PAR08	0,846	0,338	0,337	3,200
PAR09	0,846	0,157	0,157	3,200
PAR10	0,846	0,130	0,130	3,200

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk} (MPa)
PAR11	0,846	0,273	0,272	3,200
PAR12	0,846	0,271	0,271	3,200
PAR13	0,846	0,213	0,212	3,200
PAR14	0,846	0,271	0,271	3,200
PAR15	0,846	0,158	0,157	3,200
PAR16	0,846	0,130	0,130	3,200
PAR17	0,846	0,123	0,123	3,200
PAR18	0,846	0,163	0,163	3,200
PAR19	0,846	0,207	0,207	3,200
PAR20	0,846	0,207	0,207	3,200
PAR21	0,846	0,163	0,163	3,200
PAR22	0,846	0,123	0,123	3,200
PAR23	0,846	0,140	0,139	3,200
PAR24	0,846	0,257	0,257	3,200
PAR25	0,846	0,257	0,257	3,200
PAR26	0,846	0,140	0,139	3,200
PAR27	0,846	0,130	0,129	3,200
PAR28	0,846	0,130	0,129	3,200

Fonte: Autor (2019).

Quadro 19 – Flexo-compressão na direção X (segundo pavimento)

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk} (MPa)
PAR01	0,846	0,193	0,191	4,800
PAR02	0,846	0,228	0,226	4,800
PAR03	0,846	0,479	0,478	4,800
PAR04	0,846	0,357	0,355	4,800
PAR05	0,846	0,228	0,226	4,800
PAR06	0,846	0,193	0,191	4,800
PAR07	0,846	0,235	0,235	4,800
PAR08	0,846	0,447	0,446	4,800
PAR09	0,846	0,235	0,235	4,800
PAR10	0,846	0,195	0,194	4,800
PAR11	0,846	0,408	0,407	4,800
PAR12	0,846	0,406	0,406	4,800

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk} (MPa)
PAR13	0,846	0,318	0,316	4,800
PAR14	0,846	0,406	0,406	4,800
PAR15	0,846	0,236	0,235	4,800
PAR16	0,846	0,195	0,194	4,800
PAR17	0,846	0,184	0,183	4,800
PAR18	0,846	0,245	0,245	4,800
PAR19	0,846	0,310	0,310	4,800
PAR20	0,846	0,310	0,310	4,800
PAR21	0,846	0,245	0,245	4,800
PAR22	0,846	0,184	0,183	4,800
PAR23	0,846	0,209	0,208	4,800
PAR24	0,846	0,385	0,385	4,800
PAR25	0,846	0,385	0,385	4,800
PAR26	0,846	0,209	0,208	4,800
PAR27	0,846	0,194	0,192	4,800
PAR28	0,846	0,194	0,192	4,800

Fonte: Autor (2019).

Como é possível observar nos Quadros 17, 18 e 19 as condições *i* e *ii* são atendidas no segundo, terceiro e quarto pavimento do residencial com blocos de 4 MPa, 4 MPa e 6 MPa, respectivamente. Logo, o mesmo tem condições de resistir aos esforços de flexo-compressão na direção X.

Quadro 20 – Flexo-compressão na direção Y (quarto pavimento)

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk} (MPa)
PAR01	0,846	0,066	0,065	3,200
PAR02	0,846	0,083	0,080	3,200
PAR03	0,846	0,290	0,290	3,200
PAR04	0,846	0,237	0,234	3,200
PAR05	0,846	0,083	0,080	3,200
PAR06	0,846	0,066	0,065	3,200
PAR07	0,846	0,078	0,078	3,200
PAR08	0,846	0,226	0,226	3,200
PAR09	0,846	0,078	0,078	3,200

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk} (MPa)
PAR10	0,846	0,065	0,065	3,200
PAR11	0,846	0,147	0,143	3,200
PAR12	0,846	0,136	0,135	3,200
PAR13	0,846	0,118	0,113	3,200
PAR14	0,846	0,136	0,135	3,200
PAR15	0,846	0,090	0,085	3,200
PAR16	0,846	0,065	0,065	3,200
PAR17	0,846	0,062	0,061	3,200
PAR18	0,846	0,088	0,085	3,200
PAR19	0,846	0,103	0,103	3,200
PAR20	0,846	0,103	0,103	3,200
PAR21	0,846	0,088	0,085	3,200
PAR22	0,846	0,062	0,061	3,200
PAR23	0,846	0,070	0,069	3,200
PAR24	0,846	0,130	0,129	3,200
PAR25	0,846	0,130	0,129	3,200
PAR26	0,846	0,070	0,069	3,200
PAR27	0,846	0,067	0,066	3,200
PAR28	0,846	0,067	0,066	3,200

Fonte: Autor (2019).

Quadro 21 – Flexo-compressão na direção Y (terceiro pavimento)

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk}
PAR01	0,846	0,130	0,128	3,200
PAR02	0,846	0,157	0,154	3,200
PAR03	0,846	0,383	0,383	3,200
PAR04	0,846	0,299	0,296	3,200
PAR05	0,846	0,157	0,154	3,200
PAR06	0,846	0,130	0,128	3,200
PAR07	0,846	0,156	0,156	3,200
PAR08	0,846	0,336	0,336	3,200
PAR09	0,846	0,156	0,156	3,200
PAR10	0,846	0,130	0,129	3,200
PAR11	0,846	0,283	0,278	3,200
PAR12	0,846	0,271	0,271	3,200

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk}
PAR13	0,846	0,223	0,217	3,200
PAR14	0,846	0,271	0,271	3,200
PAR15	0,846	0,168	0,163	3,200
PAR16	0,846	0,130	0,129	3,200
PAR17	0,846	0,123	0,122	3,200
PAR18	0,846	0,169	0,167	3,200
PAR19	0,846	0,207	0,207	3,200
PAR20	0,846	0,207	0,207	3,200
PAR21	0,846	0,169	0,167	3,200
PAR22	0,846	0,123	0,122	3,200
PAR23	0,846	0,139	0,139	3,200
PAR24	0,846	0,258	0,258	3,200
PAR25	0,846	0,258	0,258	3,200
PAR26	0,846	0,139	0,139	3,200
PAR27	0,846	0,130	0,129	3,200
PAR28	0,846	0,130	0,129	3,200

Fonte: Autor (2019).

Quadro 22 – Flexo-compressão na direção Y (segundo pavimento)

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	f _{pk}
PAR01	0,846	0,193	0,192	4,800
PAR02	0,846	0,232	0,228	4,800
PAR03	0,846	0,476	0,476	4,800
PAR04	0,846	0,361	0,358	4,800
PAR05	0,846	0,232	0,228	4,800
PAR06	0,846	0,193	0,192	4,800
PAR07	0,846	0,235	0,235	4,800
PAR08	0,846	0,445	0,445	4,800
PAR09	0,846	0,235	0,235	4,800
PAR10	0,846	0,194	0,194	4,800
PAR11	0,846	0,418	0,413	4,800
PAR12	0,846	0,406	0,406	4,800
PAR13	0,846	0,327	0,322	4,800
PAR14	0,846	0,406	0,406	4,800

Parede	R	<i>i</i>	<i>ii</i>	fpk
PAR15	0,846	0,246	0,241	4,800
PAR16	0,846	0,194	0,194	4,800
PAR17	0,846	0,183	0,183	4,800
PAR18	0,846	0,251	0,248	4,800
PAR19	0,846	0,310	0,310	4,800
PAR20	0,846	0,310	0,310	4,800
PAR21	0,846	0,251	0,248	4,800
PAR22	0,846	0,183	0,183	4,800
PAR23	0,846	0,208	0,208	4,800
PAR24	0,846	0,387	0,386	4,800
PAR25	0,846	0,387	0,386	4,800
PAR26	0,846	0,208	0,208	4,800
PAR27	0,846	0,194	0,193	4,800
PAR28	0,846	0,194	0,193	4,800

Fonte: Autor (2019).

Como esquematizado nos Quadros 20, 21 e 22 os critérios *i* e *ii* são atendidos no segundo, terceiro e quarto pavimento do residencial que possuem blocos de 4 MPa, 4 MPa e 6 MPa, respectivamente. Com isso o mesmo tem condições de resistir aos esforços de flexo-compressão na direção Y.

7.5 Resistência à Flexo-Tração para Alvenaria não Armada ou com Baixa Taxa de Armadura – ELU

$$1,4Q_{vento} - 0,9G \leq \frac{f_{tk}}{\gamma_m} \quad (7.12)$$

Como em nenhuma parede foi encontrado carga de vento que majorada supere 90% da carga permanente, então o edifício está trabalhando exclusivamente a compressão devido não possuir grande altura.

7.6 Estabilidade do Edifício

Para se verificar a estabilidade do edifício fez-se o uso do parâmetro

$$\alpha = H \sqrt{\frac{P}{EI}} \leq 0,6 \quad (7.13)$$

Sendo:

α : parâmetro usado para medir a estabilidade da estrutura;

H : altura da edificação;

P : peso da edificação;

E : módulo de deformação;

I : soma do momento de inércia dos elementos de contraventamento.

Para a altura usou-se 18,21 metros, pois não foi considerado a garagem.

Para o módulo de deformação longitudinal usou-se a resistência do prisma multiplicada por oitocentos acrescentado de uma redução de 40 % para simular o ELS conforme as recomendações da ABNT NBR 15961-1:2011.

$$E = 0,60 * 800 * 3,20 = 1536 \text{ MPa}$$

$$H = 18,21 \text{ m}$$

$$I_x = 27,121 \text{ m}^4$$

$$I_y = 14,749 \text{ m}^4$$

$$P = 7,57709 \text{ MN}$$

$$\alpha_x = 18,21 \sqrt{\left(\frac{7,57709}{1536 * 27,121}\right)} = 0,246$$

$$\alpha_y = 18,21 \sqrt{\left(\frac{7,57709}{1536 * 14,749}\right)} = 0,333$$

Apesar de todo o dimensionamento ter acontecido para uma alvenaria não armada a norma prevê uma armadura mínima de 0,10 % da seção transversal. Seguiu-se o cálculo para um metro de parede.

$$A_s = 0,10\% * A \quad (7.14)$$

Em que

A_s constitui a área de aço mínima e

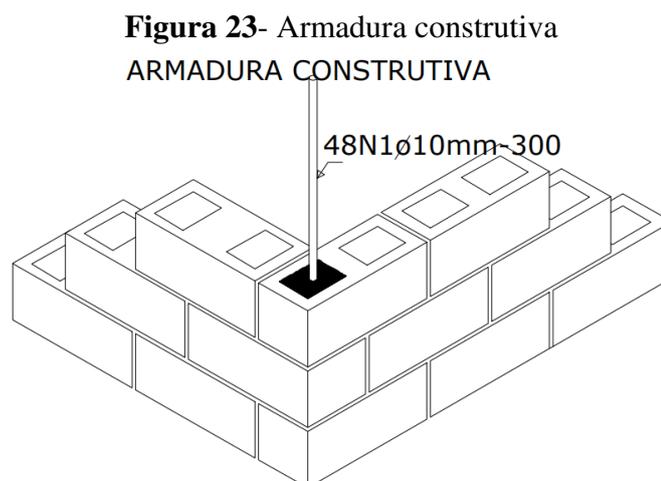
A a área da parede em questão.

$$A_s = \frac{0,10}{100} * 1400 = 1,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$NB = \frac{1,4}{0,80} = 2\phi 10,00\text{mm}$$

$$S = \frac{100}{2} = 50 \text{ cm}$$

A norma também prevê armaduras construtivas nos cantos da edificação, conforme a Figura 23.



Fonte: Autor (2019)

7.7 Interação Viga-Parede

Utilizando-se a equação 4.1 e 7.15 foi possível realizar o cálculo da tensão média próxima dos apoios como mostrado no Quadro 23. O módulo de elasticidade das paredes foram calculados como sendo 800 vezes a resistência do prisma, conforme as recomendações da ABNT NBR 15961-1:2011, e o módulo de elasticidade das vigas foram calculados conforme as recomendações da ABNT NBR 6118:2014, considerando-se um concreto de 30 MPa para as mesmas.

$$\sigma_{méd} = 1,63 \frac{P}{l * t} K^{1,12} \quad 7.15$$

Em que

P é a carga total sobre a parede;

t é a espessura da parede;

l é o comprimento da parede;

K constitui a rigidez relativa (equação 4.1).

Para confecção do Quadro 23 foram usados paredes ou trechos de paredes que apoiavam-se totalmente sobre vigas, para isso foi calculada a rigidez relativa usando-se a equação 4.1 e em seguida usando-se a 7.15 foi calculada a tensão média.

Quadro 23 – Tensão devida ao arqueamento

Parede	Viga	$K_{méd}$	$\sigma_{méd}$ (KPa)
PAR01	V1	5,53	3170,61

Parede	Viga	K _{méd}	σ _{méd} (KPa)
PAR02	V2	5,43	3641,52
PAR03	V3	5,76	8332,51
PAR04	V4	4,00	4109,65
PAR05	V5	5,43	3641,52
PAR06	V6	5,53	3170,61
PAR01	V7	4,46	2489,97
PAR04	V11	5,11	5401,59
PAR04	V12	5,11	5401,59
PAR06	V15	4,46	2489,97
PAR18	V29	5,94	4433,17
PAR13	V31	6,86	6668,76
PAR21	V33	5,94	4433,17
PAR27	V35	4,46	2501,33
PAR28	V36	4,46	2501,33
PAR27	V37	5,53	3185,08
PAR28	V42	5,53	3185,08

Fonte: Autor (2019).

7.8. Discursões

O Quadro 23 traz um resumo dos materiais utilizados com as resistências características dos blocos disponíveis no mercado de cada pavimento, a relação entre as resistências dos prismas e blocos assim como de prisma parede. Também foi especificado a resistência das argamassas de acordo com as recomendações da ABNT NBR 15961-1:2011, que afirma que esta não deve exceder 70 % da resistência dos blocos.

Quadro 24-Resumo dos materiais

Pavimento	f_{bk} (MPa)	f_a (MPa)	f_{gk} (MPa)	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk} (MPa)	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk} (MPa)
Parede Abaixo do Reservatório	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
Platibanda	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
P. 4	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
P.3	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
P.2	6	4,2	15	0,80	4,8	0,56	3,36

Fonte: Desenvolvida pelo autor (2019).

Sendo:

f_{bk} a resistência a compressão do bloco usado,

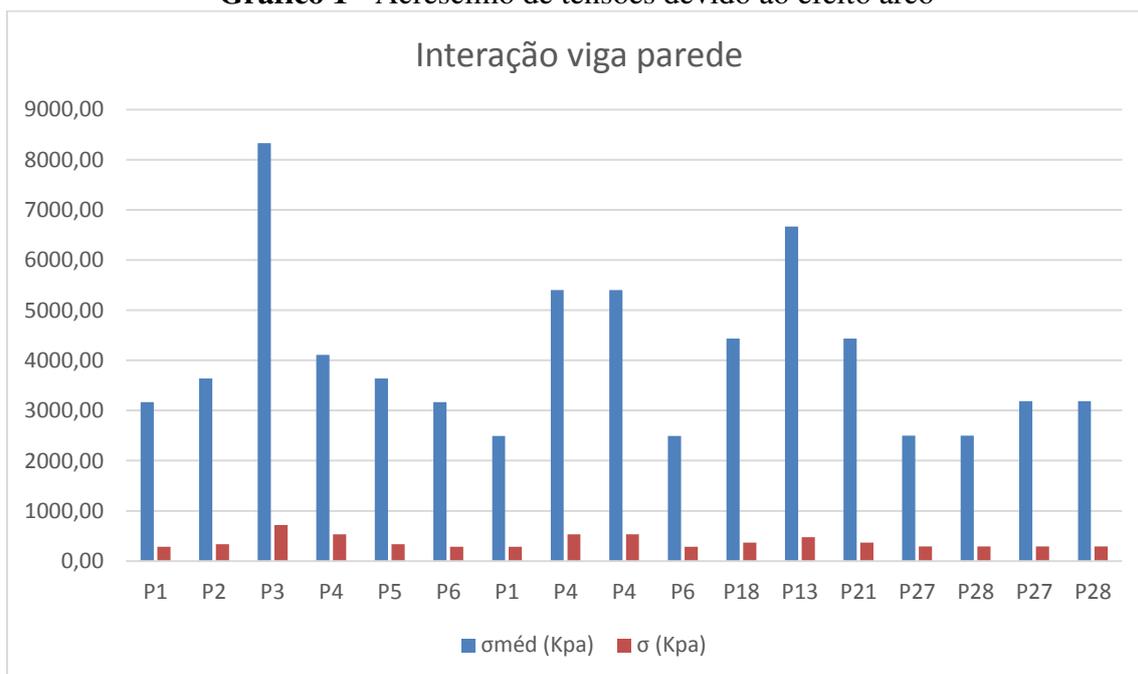
f_a resistência a compressão das argamassas,

f_{gk} resistência a compressão do graute,

f_{pk} resistência a compressão do prisma,

f_{pk} resistência a compressão da parede.

Para montagem do Gráfico 1 foram usados os valores de tensões médias do Quadro 23 resultantes da relação viga/parede e calculadas as tensões sem tal efeito considerando-se apenas as forças normais.

Gráfico 1 - Acréscimo de tensões devido ao efeito arco

Fonte: Autor (2019).

É possível perceber no Gráfico 1 um grande aumento de tensões nas paredes 3 e 13, principalmente pelo fato de se apoiarem sobre vigas que vencem vãos consideráveis e também devido a carga suportada por tais paredes. Também nota-se a grande importância de levar em conta a interação ente viga e parede no dimensionamento das alvenarias.

No Quadro 25 tem-se um resumo dos materiais que devem ser utilizados quando o edifício é dimensionado levando-se em consideração o aumento de tensões próximo aos apoios. Nota-se que no segundo pavimento foi preciso usar um bloco com 4 Mpa a mais de resistência do que quando o mesmo foi dimensionado usando-se somente a ABNT NBR 15961-1:2011 (10 MPa), devido terem sido encontradas tensões de 8,3 Mpa na parede 13. Foram usados blocos com resistência próxima às tensões encontradas, pois como Carvalho (2007) conclui em sua pesquisa, essas tensões não estão em toda a base da parede.

Quadro 25-Resumo dos materiais após a consideração do efeito arco

Pavimento	f_{bk} (MPa)	f_a (MPa)	f_{gk} (MPa)	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk} (MPa)	f_{pk}/f_{bk}	f_{pk} (MPa)
Parede Abaixo do Reservatório	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
Platibanda	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
P. 4	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
P.3	4	2,8	15	0,80	3,2	0,56	2,24
P.2	10	7,5	15	0,80	8,0	0,56	5,6

Fonte: Desenvolvida pelo autor (2019).

Sendo:

f_{bk} a resistência a compressão do bloco usado,

f_a resistência a compressão das argamassas,

f_{gk} resistência a compressão do graute,

f_{pk} resistência a compressão do prisma,

f_{pk} resistência a compressão da parede.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com essa pesquisa é possível afirmar que a alvenaria estrutural é um sistema que traz diversos benefícios como a redução dos resíduos, uma vez que os projetos são racionalizados e não são permitidos cortes nos blocos, colaborando assim com a redução de custos e reduzindo a geração de resíduos ao meio ambiente.

Assim, quando usada em concordância com as normas é possível afirmar que são muitos os benéficos tragos pelo sistema, mas que da mesma forma dos sistemas de concreto, madeira e aço tem suas limitações e se não estudado corretamente cada caso pode acabar tornando-se mais oneroso e não ser possível colher os benefícios como ocorre em edifícios altos ou onde deseja-se ter autonomia para remoção de paredes.

Também foi possível verificar que a edificação em questão tem condições de resistir aos esforços de compressão, cisalhamento, flexo-compressão e flexo-tração, resistindo assim aos esforços exercidos tanto pelas ações horizontais como verticais, possui estabilidade tanto na direção X como Y.

Nota-se que devido a interação entre parede versus viga, formam-se regiões de concentração de tensões nas proximidades dos apoios. A ABNT NBR 15961:2011 não leva em conta este efeito, mas com esse estudo foi possível concluir que devido ao grande aumento de tensões é de fundamental importância sua consideração para garantir a segurança das estruturas em alvenaria estrutural e minimizar o aparecimento de patologias. Sendo assim, é necessário que em revisões futuras ocorra a incorporação de tais tensões no dimensionamento ainda que de modo simplificado como ocorre em algumas normas internacionais.

É possível ainda frisar que o dimensionamento da parede ocorre considerando-se uma carga uniformemente distribuída, para que a mesma resista aos esforços de compressão, ficando claro a importância de verificar a compressão provocada por uma distribuição desigual de cargas devido a deformação das vigas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15161-1: Alvenaria estrutural-Blocos de concreto, Parte 1: Projeto**. Rio de Janeiro 2011.

_____. **NBR 15161-2: Alvenaria estrutural-Blocos de concreto, Parte 2: Execução e controle de obras**. Rio de Janeiro 2011.

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

_____. **NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria-Requisitos**. Rio de Janeiro 2014.

_____. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto- Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BECK, V. C. **A Matemática no Egito Antigo**. In: XVI Encontro Regional de Estudantes da Região Sul - EREMATSUL, 2010, Porto Alegre. Anais... XVI EREMATSUL, p. 49-56, 2010.

CAMACHO, J. S.; **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. Universidade Estadual Paulista, Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. Ilha Solteira, São Paulo. 2006.

CAPRARO, D. F. A. **CONSIDERAÇÃO DO EFEITO ARCO EM PAREDES ESTRUTURAIS SOBRE VIGAS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA EM ELEMENTOS FINITOS**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

CARVALHO, J. D. N.; ROMAN, H.R. **Arch Effect – A literature review IBMAC**, 2008.

CARVALHO, J. D. N. **A CONTRIBUIÇÃO DE ENRIJECEDORES LATERAIS PARA O EFEITO ARCO NA ALVENARIA ESTRUTURAL**. 2007. 284 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGECC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

FILHO, J. A. A. **Blocos de concreto para alvenaria em construções industrializadas**. Tese (Doutorado em engenharia de estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 246 p. 2007.

FLORES, K. B. **Alvenaria convencional x alvenaria estrutural: Vantagens e desvantagens**. 2018. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade de Cuiabá, Cuiabá-MT, 2018.

- GARRAFFONI, R. S. **Técnicas e destreza nas arenas romanas: Uma leitura da gladiatura no apogeu do Império**. 2004. 269 f. Tese (Doutorado em História) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2004.
- HIBBELER, R.C. **Estática: Mecânica para engenharia**. 10ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.
- HOFFMANN, L. G.; BRESSIANI, L.; FURLAN, G. C.; THOMAZ, W. A. **Alvenaria Estrutural: um levantamento das vantagens, desvantagens e técnicas utilizadas, com base em uma pesquisa bibliográfica nacional**. III Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana – 7 e 8 de Novembro, Maringá - PR. 2012.
- KLEINGESINDS, S. E. **Influência do efeito arco sobre o custo de estruturas de suporte em concreto armado para edifícios de alvenaria estrutural**. 2014. 181 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- MACHADO, D. W. N. **Alvenaria Estrutural: Construindo Conhecimento**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2015.
- MACHADO, A. P.; ANTUNES, E. G. P. **Influência da resistência da argamassa de assentamento na compressão axial de prismas de blocos cerâmicos estruturais**. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma, p. 18. 2015.
- NASCIMENTO, B. M. et al. **Abordagem didática e prática da ação do vento em edificações**. Congresso Latino-Americano da Construção Metálica – 20 a 22 de setembro, São Paulo, Brasil. 2016.
- NETO, A. P. P.; PELUSO, E. O.; CARVALHO, V. T. A. **Alvenaria Estrutural: Empreendimento Flora Park II**. TCC (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil. Goiânia. 2015.
- PARSEKIAN, G. A., SOARES, M. M. **Alvenaria Estrutural em Blocos Cerâmicos: Projeto, Execução e Controle**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2010.
- PARSEKIAN, G. A.; HAMID, A. A.; DRYSDALE, R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. 2ª ed. São Carlos, 2014. 625 p.
- PARSEKIAN, G. A. **Parâmetros de projeto de alvenaria estrutural com blocos de concreto**. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2012.
- PAREIRA, T. S.; ALVES, F. C.; GOMES, L. G.; SILVA, M. H.; ROSA, S. R.; SILVA, S. L. F.; PINTO, C. O. Estudo comparativo entre alvenaria estrutural e alvenaria de vedação comum. In: 8º Encontro de Tecnologia: Empreendimento, Inovação e Sustentabilidade. **Anais...** v.1, n 3. São Paulo, Brasil, 2015, p. 25-28.

PAES, M. S. **Interação entre edifício de alvenaria estrutural e pavimento em concreto armado considerando-se o efeito arco com a atuação de cargas verticais e ações horizontais.** 2007. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PEREIRA, D. **Arquitetura Clássica: Um olhar do Parthenon de Atenas.** 2013. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Ensino Médio) – Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada à Educação, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2013.

PINHEIRO, S. G. **Alvenaria estrutural em blocos de concreto: Aspectos construtivos e pré-dimensionamento.** 2018. 89 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** 1ª edição. São Paulo – SP. Editora Pini Ltda Novembro de 2008.

REBOREDO, A. R. **Dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural de blocos de concreto: comentários sobre a NBR 15961-1 (2011).** Monografia. Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2013.

RIDDINGTON, J.R; STAFFORD SMITH, S. B. **Composite method of design for heavily loaded wall-beam structures.** In: Institutional of Civil Engineers Proceedings. Part 1, v.64, p.137-151. 1978.

SANTANA, L. G. **Planejamento para construção de edificação residencial em alvenaria estrutural.** 2017. 259 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia civil) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

SÁNCHEZ, E. **Nova normalização brasileira para alvenaria estrutural.** 1ª ed. Interciência. Rio de Janeiro, 2013. 420 p.

SCHÜSSLER, E. R. **Interação entre alvenaria estrutural e concreto armado – Análise da distribuição dos esforços mediante o efeito arco.** 2012. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

SILVA, C. B. P.; NAVARRO, L. M.; LOPES, R. A. C. **Sistema construtivo de alvenaria estrutural: um levantamento das vantagens e desvantagens.** FACH DE ENGENHARIA CIVIL, Belém, PA. 2018.

SILVA, D. B. M.; SALES, F. M.; SILVA, L. A.; SILVA, M. S. **Análise comparativa entre alvenaria estrutural e concreto armado.** Revista educação, meio ambiente e saúde. V7, N4, pág. 103-118. Outubro de 2017.

STEINMETZ, I. **Alvenaria estrutural: dimensionamento de um edifício de quatro pavimentos utilizando blocos vazados de concreto.** TCC (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 152 p. 2018.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**: 1. Ed. São Paulo: Editora PINI Ltda, 2010.

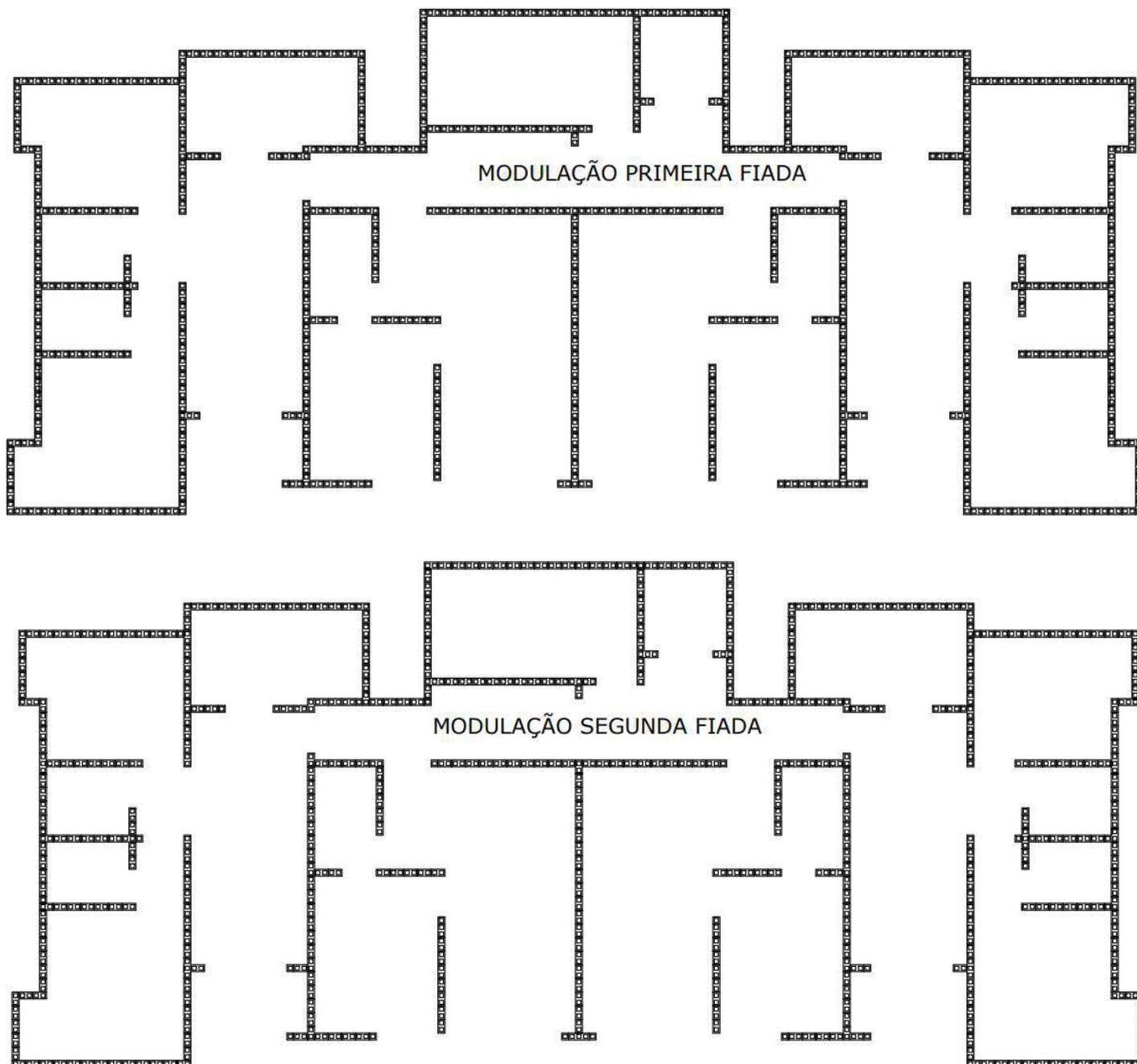
VIANA, K. R. C. **Estudo do sistema construtivo em alvenaria estrutural na cidade do Rio de Janeiro face aos conceitos e construção sustentável**. 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2013.

VIEIRA, W. B.; ALVARENGA, R. C. S. S.; VERÍSSIMO, G. S. Distribuição de ações horizontais em edifícios de alvenaria estrutural – Comparação entre métodos de paredes isoladas e de associação plana de painéis. In: 10th WORLD CONGRESS ON COMPUTATIONAL MECHANICS (Blucher Mechanical Engineering Proceedings). **Anais...** v. 1, n. 1. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Federal de Viçosa, Brasil, Maio de 2014, p. 4975-4991.

WENDLER, A. **Curso sobre projetos de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto**. ABCP, São Paulo. 2001.

Apêndice A: Modulação

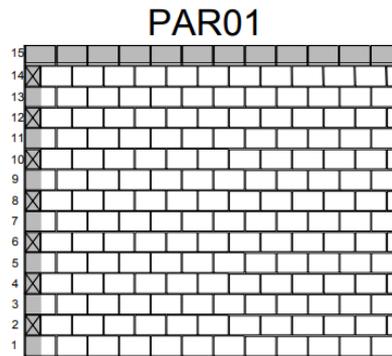
Figura 24: Modulação da primeira e segunda fiada



Fonte: Autor (2019)

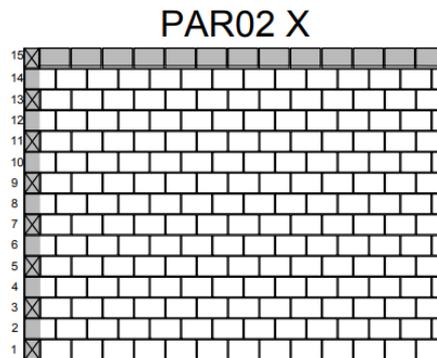
Apêndice B: Modulação Vertical

Figura 25: PAR01



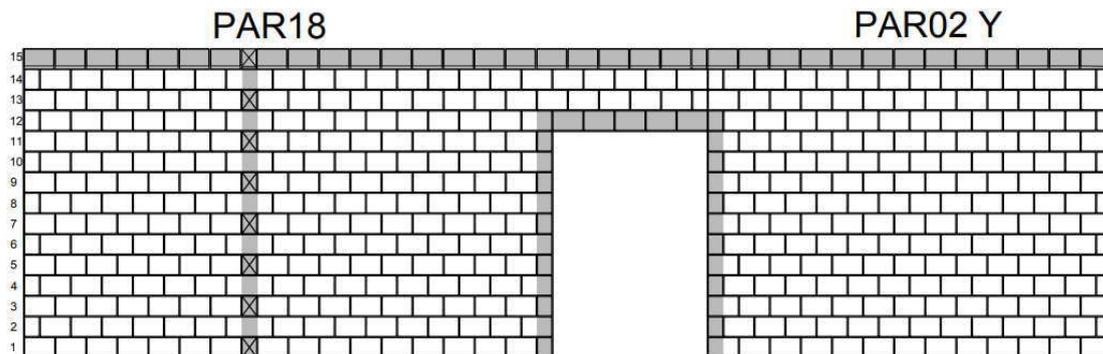
Fonte: Autor (2019)

Figura 26: PAR02 X

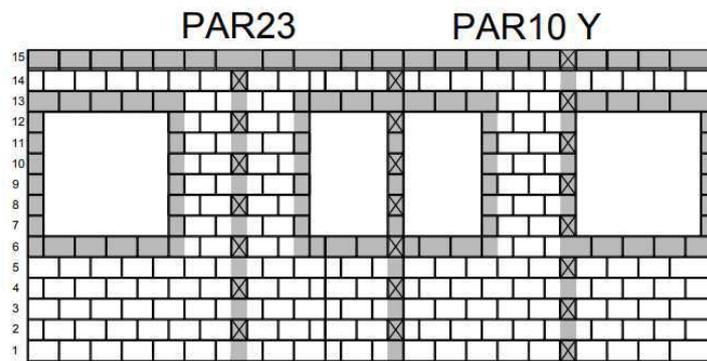


Fonte: Autor (2019)

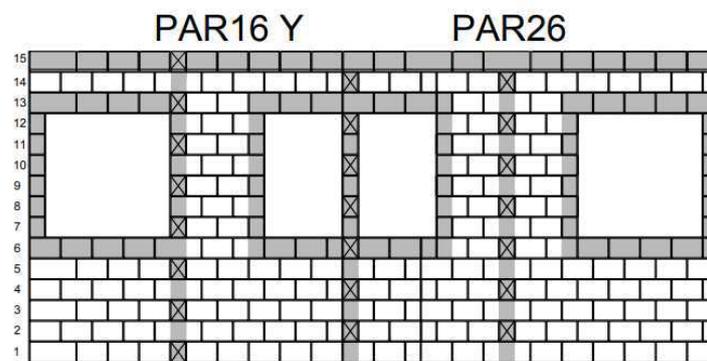
Figura 27: PAR18 e PAR02 Y



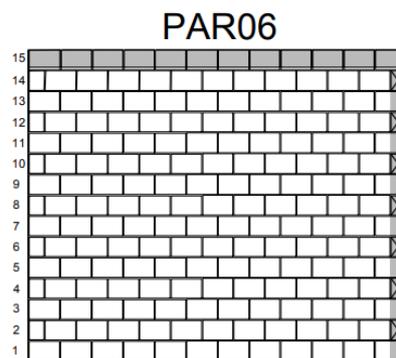
Fonte: Autor (2019)

Figura 28: PAR23 e PAR10 Y

Fonte: Autor (2019)

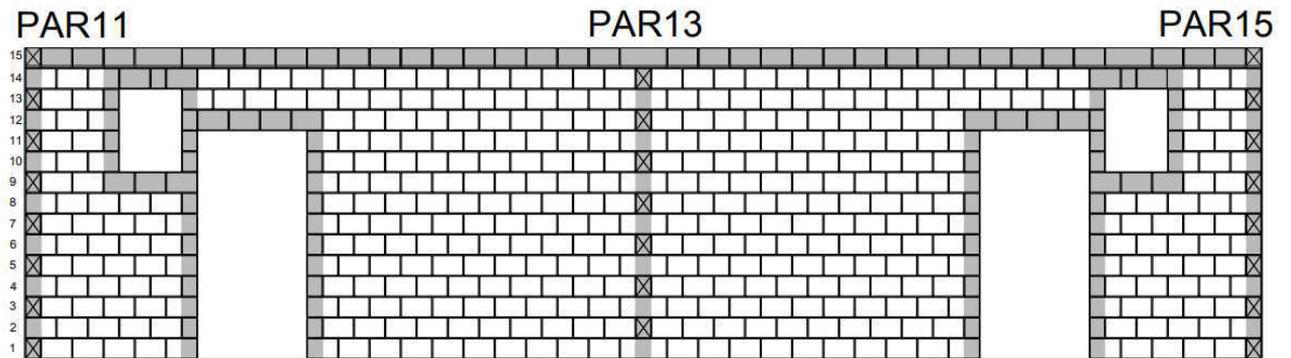
Figura 29: PAR16 Y e PAR26

Fonte: Autor (2019)

Figura 30: PARO6

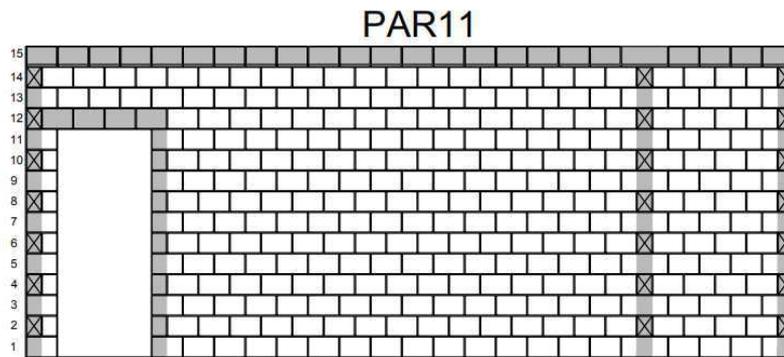
Fonte: Autor (2019)

Figura 34: PAR11, PAR13 e PAR15



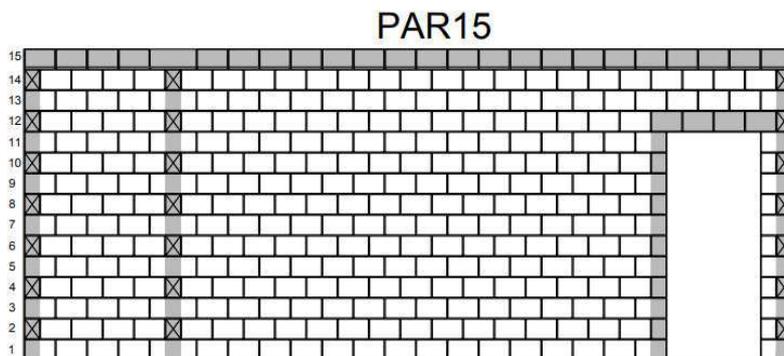
Fonte: Autor (2019)

Figura 35: PAR11

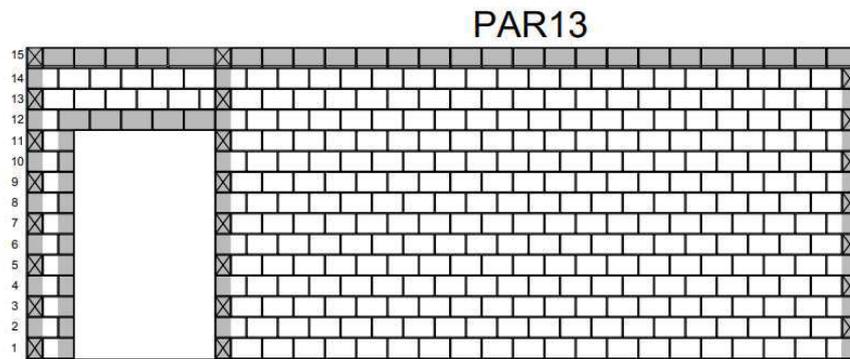


Fonte: Autor (2019)

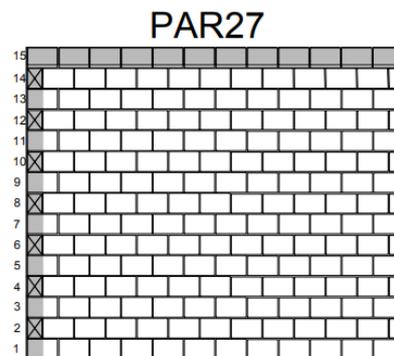
Figura 36: PAR15



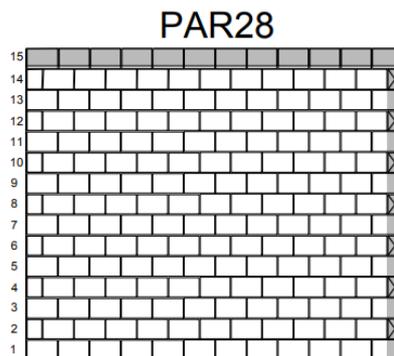
Fonte: Autor (2019)

Figura 37: PAR13

Fonte: Autor (2019)

Figura 38: PAR27

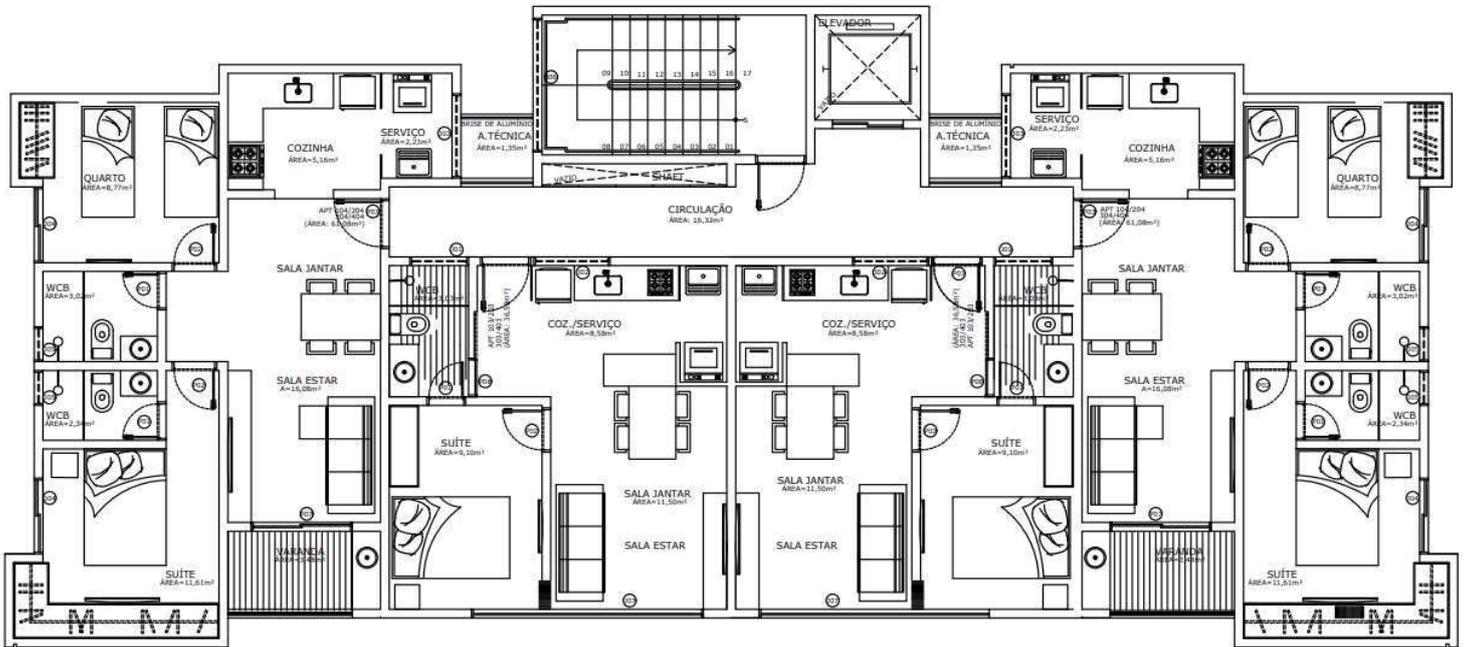
Fonte: Autor (2019)

Figura 39: PAR28

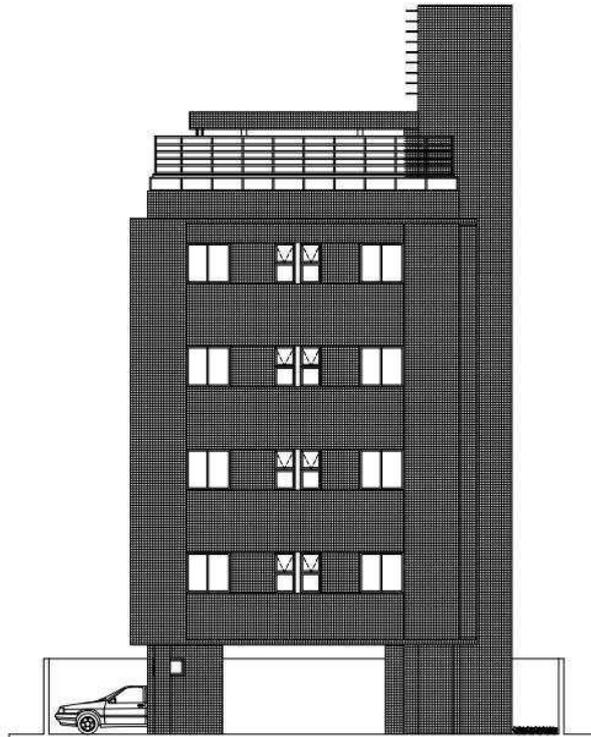
Fonte: Autor (2019)

Anexo A: Planta baixa

Figura 40: Panta baixa



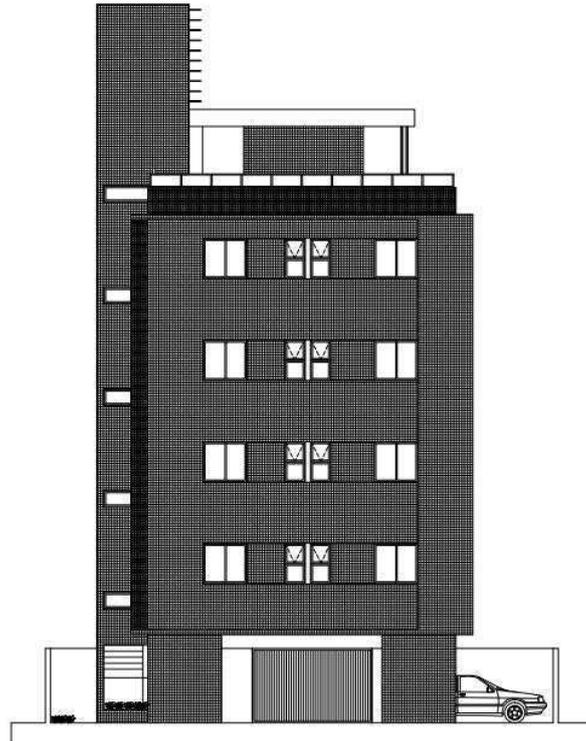
Fonte: Brito (2019)

Anexo B: Fachadas**Figura 41: Fachada Nordeste**

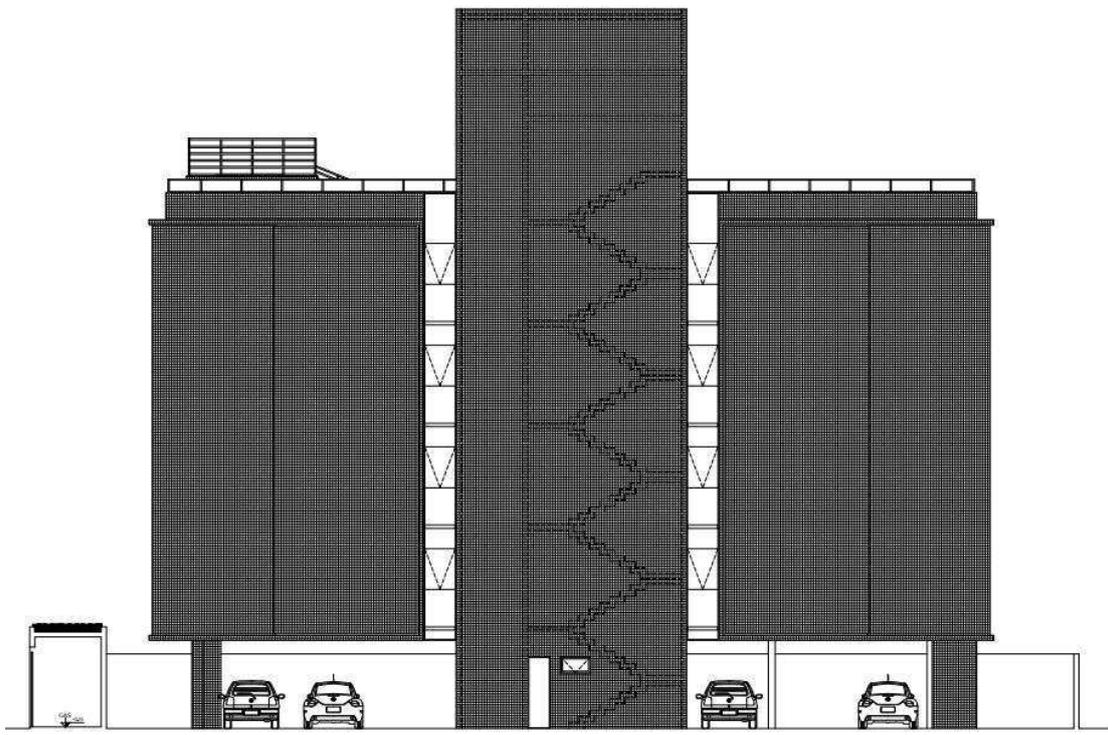
Fonte: Brito (2019)

Figura 42: Fachada Sudeste

Fonte: Brito (2019)

Figura 43: Fachada Sudoeste

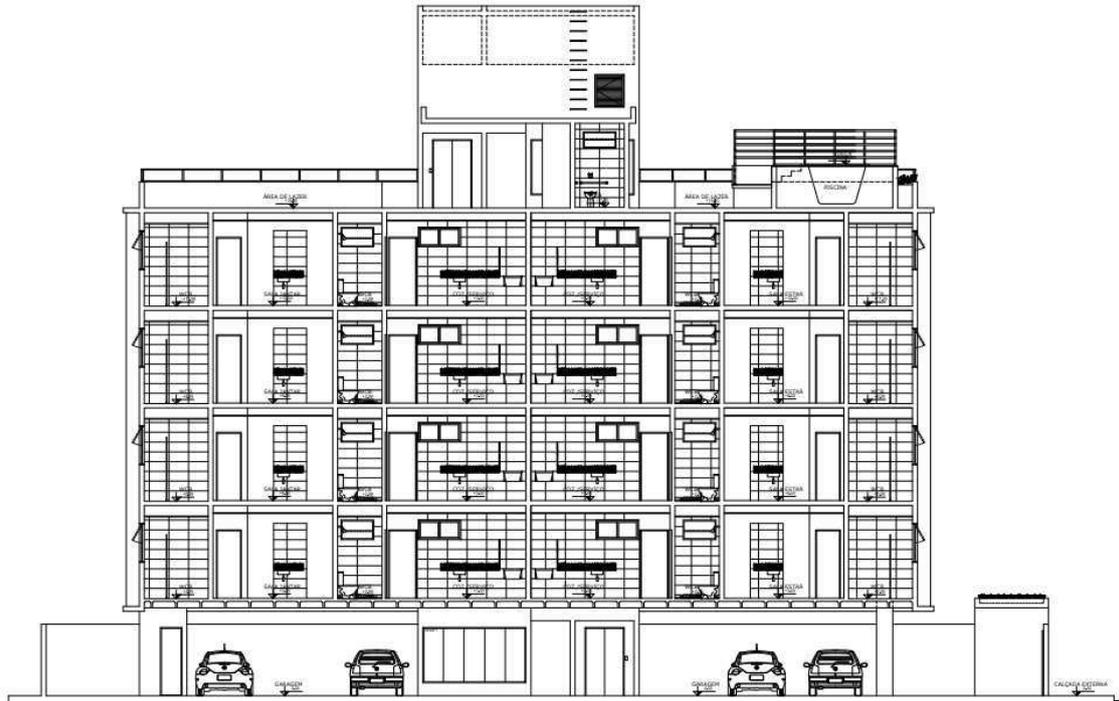
Fonte: Brito (2019)

Figura 44: Fachada Noroeste

Fonte: Brito (2019)

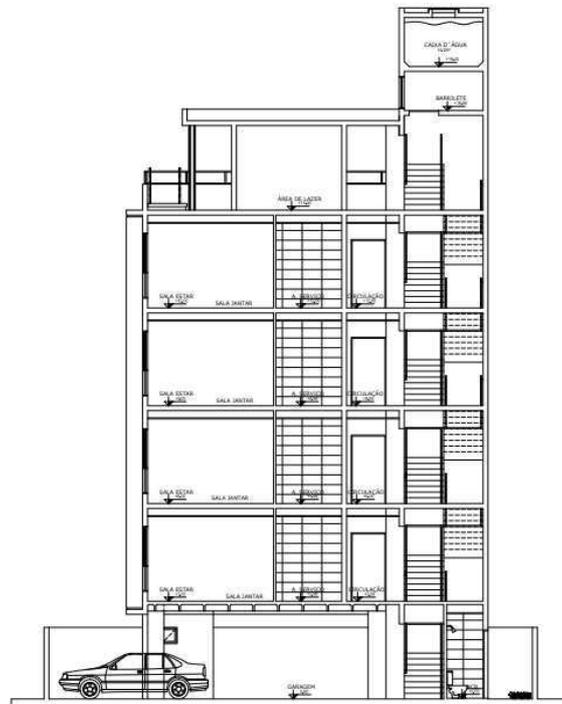
Anexo C: Cortes

Figura 45: Corte AA



Fonte: Brito (2019)

Figura 46: Corte BB



Fonte: Brito (2019)