

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PROJETO DE ESTRUTURAS

CRISTIANO SESTI ROCHEDO

**ESTUDO COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO DE
ALVENARIA ESTRUTURAL DE OITO PAVIMENTOS: EMPREGANDO
BLOCOS CERÂMICOS E BLOCOS DE CONCRETO**

MONOGRAFIA

TOLEDO
2012

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM PROJETO DE ESTRUTURAS

**ESTUDO COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO DE
ALVENARIA ESTRUTURAL DE OITO PAVIMENTOS: EMPREGANDO
BLOCOS CERÂMICOS E BLOCOS DE CONCRETO**

Monografia apresentada ao curso de Especialização em Projeto de Estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Edna Possan.
Coorientadora: Prof^a. M^a. Lucia Bressiani.

TOLEDO
2012



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE OITO PAVIMENTOS: EMPREGANDO BLOCOS CERÂMICOS E BLOCOS DE CONCRETO MONOGRAFIA

por

CRISTIANO SESTI ROCHEDO

Esta monografia foi apresentada às 18:30 do dia 18 de dezembro de 2012 como requisito para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM PROJETO DE ESTRUTURAS, do Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profª. Drª. Edna Possan
Orientadora – UTFPR / Engenharia Civil

Prof. Gustavo Savaris, Msc
UTFPR / Engenharia Civil

Profª. Mª. Lucia Bressiani
UTFPR / Engenharia Civil

Visto da Coordenação

Prof. Dr. Lucas Boabaid Ibrahim
Coordenador do Curso

Câmpus Toledo

Rua: Cristo Rei, 19
85902-490 – Toledo – Paraná - Brasil
Fone: (45) 3379-6800 Fax: (45) 3379-6808
www.td.utfpr.edu.br

Ministério
da
Educação

RESUMO

Em função do crescimento acelerado da construção civil nos últimos anos, decorrente do crescimento econômico do Brasil, o setor se depara com as dificuldades em atender a demanda do mercado, dentre as quais se pode citar a escassez de mão de obra qualificada, de insumos e de equipamentos. Na expectativa de atender o mercado cada vez mais exigente, muitas empresas que atuam na área de construção de edifícios, buscam estratégias alternativas para se tornarem mais competitivas, desde a concepção do projeto até a conclusão da obra, sendo o projeto uma das principais fases em que são definidos os materiais e processos construtivos. Neste contexto de racionalização, um dos processos construtivos em crescente utilização é a alvenaria estrutural, que recentemente teve sua normalização de projeto regulamentada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, pelas NBR 15812(2010) parte 1 e NBR 15961(2011) parte 1, que regulamentam, respectivamente, os métodos de cálculos de projeto para alvenaria estrutural empregando blocos cerâmicos e blocos de concreto. No entanto muitos profissionais de engenharia ainda desconhecem os processos de cálculo estrutural para o projeto de edifícios em alvenaria estrutural tanto para blocos cerâmicos quanto para blocos de concreto. Como forma de contribuição, este estudo - apresenta um comparativo dos cálculos estruturais de um pavimento tipo de um edifício comercial com 8 pavimentos, utilizando as diretrizes de cálculo de projeto da NBR 15812-1 Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos e da NBR 15961-1 Alvenaria estrutural – blocos de concreto.

Palavras chave: Alvenaria estrutural. Blocos Cerâmicos. Blocos de concreto.

ABSTRACT

Due to the rapid growth of the construction industry in recent years due to the economic growth of Brazil, the sector is facing difficulties in meeting the demand of the market, among which we can cite the shortage of skilled labor, inputs and equipment. Hoping to meet the increasingly demanding market, many companies operating in the construction of buildings, seek alternative strategies to become more competitive, from project conception to completion, and the project is one of the main stages in which are defined materials and construction processes. In this context of rationalization, one of constructive processes in use is the increasing structural masonry, which recently had its standardization project regulated by ABNT - Brazilian Association of Technical Standards, the NBR 15812 (2010) Part 1 and NBR 15961 (2011) Part 1 , which regulate, respectively, methods of design calculations for structural masonry using ceramic blocks and concrete blocks. However many engineering professionals are still unaware of the processes of structural calculations for the design of structural masonry buildings for both ceramic blocks and for concrete blocks. As a contribution, this study - presents a comparison of the structural calculations of a kind floor of a commercial building with 8 floors, using the guidelines for calculating project NBR 15812-1 Structural masonry - Blocks ceramic and NBR 15961-1 Masonry structural - concrete blocks.

Keywords: Structural masonry. Ceramic blocks. Concrete blocks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: A grande Pirâmide de Queóps	11
Figura 2: O Farol de Alexandria	12
Figura 3: Templo Maia, Tikal – El Petén, Guatemala	12
Figura 4: O Coliseu	13
Figura 5: A Catedral de Reims	13
Figura 6: O edifício Monadnock	14
Figura 7: Hotel Excalibur	15
Figura 8: Conjunto Habitacional "Central Parque da Lapa" construído em 1966	15
Figura 9: Conjunto Habitacional "Central Parque da Lapa" construído em 1972	16
Figura 10: Edifício Muriti em São José dos Campos / SP	16
Figura 11: Verga, contraverga, graute e armadura	23
Figura 12: Área bruta, área líquida e área efetiva	23
Figura 13: Prisma de 2 blocos	24
Figura 14: Análise da equação do desaprumo	32
Figura 15: Planta baixa do pavimento tipo	41
Figura 16: Planta baixa do pavimento tipo com nomenclatura das paredes	43
Figura 17: Planta baixa do pavimento tipo com as áreas de influência	44
Figura 18: Ação do vento no pavimento tipo nas direções X e Y	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação das ações – NBR 6120 (1980)	26
Tabela 2: Peso específico dos materiais – NBR 3120 (1980)	27
Tabela 3: Valores mínimos de cargas acidentais – NBR 6120 (1980)	28
Tabela 4: Pesos específicos para alvenaria estrutural – (PARSEKIAN <i>et al</i> , 2012)	29
Tabela 5: Resistência média de compressão da argamassa – NBR 15812(2010)	35
Tabela 6: Cargas verticais consideradas nos cálculos de distribuição	42
Tabela 7: Carregamento vertical por paredes isoladas – Blocos cerâmicos	45
Tabela 8: Carregamento vertical por paredes isoladas – Blocos de concreto	46
Tabela 9: Carregamentos verticais por grupo de paredes – Blocos cerâmicos	47
Tabela 10: Carregamentos verticais por grupo de paredes – Blocos de concreto	47
Tabela 11: Compressão por grupo de paredes – Blocos cerâmicos	48
Tabela 12: Resistência característica de compressão simples do prisma – Blocos cerâmicos	48
Tabela 13: Compressão por grupo de paredes – Blocos de concreto	49
Tabela 14: Resistência característica de compressão simples do prisma – Blocos de concreto	49
Tabela 15: Dados dimensionais e coeficientes de arrasto	50
Tabela 16: Levantamento das ações do vento em X e em Y	51
Tabela 17: Desaprumo para blocos cerâmicos e blocos de concreto	52
Tabela 18: Ações totais em X em cada pavimento	54
Tabela 19: Ações totais em Y em cada pavimento	55
Tabela 20: Resistência dos blocos cerâmicos por pavimento	57
Tabela 21: Resistência dos blocos de concreto por pavimento	58
Tabela 22: Dimensionamento ao cisalhamento – Blocos cerâmicos	60
Tabela 23: Dimensionamento ao cisalhamento – Blocos de concreto	61
Tabela 24: Dimensionamento a flexocompressão – Blocos cerâmicos	64
Tabela 25: Dimensionamento a flexocompressão – Blocos de concreto	65

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	08
1.1.	OBJETIVOS	09
1.1.1.	Objetivo Geral	09
1.1.2.	Objetivos Específicos	09
1.2.	LIMITAÇÕES DO TRABALHO	10
1.3.	JUSTIFICATIVA	10
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1.	ASPECTOS HISTÓRICOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL	11
2.2.	ASPECTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL	17
2.3.	REFERÊNCIAS NORMATIVAS DA ALVENARIA ESTRUTURAL	18
2.4.	DEFINIÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL	21
2.5.	DIMENSIONAMENTO EM ALVENARIA ESTRUTURAL	25
2.5.1.	Ações Verticais	26
2.5.2.	Ações Horizontais	29
2.5.2.1.	Ação do vento	30
2.5.2.2.	Desaprumo	31
2.5.2.3.	Distribuição das ações horizontais por paredes isoladas	32
2.5.3.	Dimensionamento à Compressão Simples	33
2.5.4.	Dimensionamento ao Cisalhamento	35
2.5.5.	Dimensionamento à Flexocompressão	37
3.	METODOLOGIA	40
3.1.	INTRODUÇÃO	40
3.2.	CARACTERÍSTICAS DO PROJETO	40
3.3.	PROCEDIMENTO DE CÁLCULO	42
3.3.1.	Levantamento das Ações Verticais	42
3.3.2.	Levantamento das Ações Horizontais	50
3.3.3.	Distribuição das Ações Horizontais	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1.	DIMENSIONAMENTO A COMPRESSÃO SIMPLES	56
4.1.1.	Blocos Cerâmicos	56
4.1.2.	Blocos de Concreto	58
4.2.	DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO	59
4.2.1.	Blocos Cerâmicos	59
4.2.2.	Blocos de Concreto	60
4.3.	DIMENSIONAMENTO À FLEXOCOMPRESSÃO	61
4.3.1.	Blocos Cerâmicos	64
4.3.2.	Blocos de Concreto	65
4.4.	SÍNTESE DOS RESULTADOS	66
4.4.1.	Dimensionamento à Compressão Simples	66
4.4.2.	Dimensionamento ao Cisalhamento	67
4.4.3.	Dimensionamento à Flexocompressão	67
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

1. INTRODUÇÃO

Em função do crescimento acelerado da construção civil nos últimos anos, decorrente do crescimento econômico do Brasil, atualmente o setor se depara com as dificuldades em atender a demanda do mercado. Dentre as principais dificuldades pode-se citar a escassez de mão de obra qualificada, de insumos e de equipamentos.

Na expectativa de atender o mercado cada vez mais exigente, muitas empresas que atuam na área de construção de edifícios, buscam estratégias alternativas para se tornarem mais competitivas.

Das estratégias adotadas pelas empresas que buscam otimizar sua cadeia produtiva, destaca-se a racionalização dos métodos, processos e sistemas construtivos, tendo como resultado a diminuição dos custos e dos prazos de execução, bem como o incremento da qualidade dos edifícios produzidos. Com isso tem-se a maior satisfação dos clientes.

Segundo Barros (1996) os princípios da racionalização construtiva proporcionam a aplicação adequada de todos os recursos envolvidos no processo de produção, através da adequação tecnológica e da mudança organizacional dos processos tradicionais de construção.

As mudanças organizacionais devem ocorrer em todas as fases, desde a concepção do projeto até a conclusão da obra, sendo o projeto uma das principais fases, onde se determina o processo construtivo e os materiais a serem empregados.

Para O'CONNOR e TUCKER (1986), "a construtibilidade é entendida como a habilidade das condições do projeto permitir a ótima utilização dos recursos da construção". Esta interpretação particulariza a aplicação de ações à fase de projeto com o objetivo de racionalização da construção.

Neste contexto de racionalização, um dos processos construtivos em crescente utilização é a alvenaria estrutural, que recentemente foi normalizada pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, pelas NBR 15812(2010) parte 1 e NBR 15961(2011) parte 1, que regulamentam respectivamente os métodos e cálculos de projeto para alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e blocos de concreto.

Pelo fato das normas técnicas supracitadas estarem em vigência a menos de dois anos, muitos profissionais de engenharia ainda desconhecem os processos de cálculo estrutural para o projeto de edifícios em alvenaria estrutural tanto para blocos cerâmicos quanto para blocos de concreto.

Como forma de contribuição, este estudo propõe apresentar um comparativo dos cálculos estruturais de um pavimento tipo de um edifício comercial com oito pavimentos, utilizando as diretrizes de cálculo de projeto da NBR 15812-1 Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos e da NBR 15961-1 Alvenaria estrutural – blocos de concreto.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é analisar de forma comparativa o dimensionamento de um edifício comercial com oito pavimentos em alvenaria estrutural empregando blocos de concreto e blocos cerâmicos.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Apresentar os critérios de cálculo para alvenaria estrutural com blocos cerâmicos de acordo com a NBR 15812-1:2010;
- Apresentar os critérios de cálculo para alvenaria estrutural com blocos de concreto de acordo com a NBR 15961-1:2011;
- Identificar a necessidade de graute em função da utilização de blocos cerâmicos e blocos de concreto;
- Identificar a necessidade de armadura em função da utilização de blocos cerâmicos e blocos de concreto;
- Identificar as resistências dos blocos necessárias para projeto com blocos cerâmicos e com blocos de concreto;
- Comparar os resultados.

1.2. LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Esta pesquisa se limita ao desenvolvimento dos cálculos de dimensionamento do projeto estrutural do pavimento tipo de um edifício comercial com oito pavimentos, utilizando blocos de concreto e blocos cerâmicos.

1.3. JUSTIFICATIVA

As normas NBR 15812(2010) parte 1 e NBR 15961(2011) parte 1, que a menos de dois anos entraram em vigor pela ABNT, e que regulamentam respectivamente os métodos e cálculos de projeto para alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e blocos de concreto, possuem novos critérios para dimensionamento estrutural, que ainda é pouco disseminado entre os profissionais de engenharia.

Este trabalho propõe uma contribuição para o setor que se apresenta em amplo desenvolvimento em várias regiões do país, no qual a alvenaria estrutural vem se destacando, apresentando um comparativo dos cálculos estruturais utilizando blocos cerâmicos e blocos de concreto, de acordo com as normas NBR 15812(2010) parte 1 e NBR 15961(2011) parte 1, que poderá auxiliar inclusive na tomada de decisões em relação ao tipo de bloco a ser utilizado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ASPECTOS HISTÓRICOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural teve sua origem na Pré-História, de modo que pode ser considerado um dos sistemas construtivos mais antigos da humanidade, algumas destas obras datam de mais de 10 mil anos (PARSEKIAN, HAMID E DRYSDALE, 2012).

Segundo Ramalho e Corrêa (2003), esse sistema construtivo desenvolveu-se inicialmente através do empilhamento puro e simples de unidades, tijolos ou blocos, de forma a cumprir a destinação projetada.

Para Ramalho *et al* (2003) alguns exemplos podem ser considerados importantes para o entendimento do desenvolvimento do sistema construtivo em análise. São obras grandiosas e que tiveram papéis de destaque na história da humanidade, e que atualmente são visitadas por turistas de mundo inteiro.

As Pirâmides de Guizé foram construídas em blocos de pedra há aproximadamente 2.600 anos a.C., na maior delas que é a pirâmide de Quéops, foram utilizados aproximadamente 2,3 milhões de blocos com peso médio de 25 kN cada distribuídos em uma base de 52.900m² e com altura de 147 metros. A Figura 1 ilustra a magnitude da obra (RAMALHO *et al*, 2003).



Figura 1: A grande pirâmide de Quéops.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Pir%C3%A2mide_de_Qu%C3%A9ops.

O Farol de Alexandria foi construído em mármore branco e media 134 metros de altura, após um terremoto no século XIV restaram apenas suas fundações como referência da sua grandiosidade. Do ponto de vista estrutural tratava-se de uma obra marcante, com altura equivalente a um prédio de 45 pavimentos (RAMALHO *et al*, 2003), como pode-se observar na Figura 2.



Figura 2: Farol de Alexandria.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Farol_de_Alexandria.

Na América Latina, têm-se as pirâmides Maias, construídas 200 anos depois de Cristo, na região da Guatemala (Tikal, El Petén, Guatelama), as quais empregaram a pedra calcária como principal elemento estrutural, que eram cortadas de modo a encaixar-se quase perfeitamente, não dependendo, muitas vezes do uso de argamassa para a união das mesmas. Na Figura 3, apresenta-se uma fotografia tirada em 2011 de um dos principais templos Maias.



Figura 3: Templo Maia, Tikal – El Petén, Guatemala.
Fonte: Créditos da imagem professora Edna Possan (2011).

O Coliseu, construído por volta de 70 anos d.C. com mais de 500 metros de diâmetro e 50 metros de altura, possuía 80 portais que serviam de entrada e saída dos espetáculos, executado para acomodar 50.000 pessoas, trata-se de um maravilhoso exemplo da arquitetura romana, com mais de 500 metros de diâmetro e 50 metros de altura. A Figura 4 ilustra uma imagem mais atual desta obra (RAMALHO *et al*, 2003).



Figura 4: O Coliseu.
Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Coliseu>.

Para Ramalho e Corrêa (2003) a Catedral de Reims (Figura 5) é um grande exemplo de catedral gótica, construída entre 1211 e 1300 d.C. demonstra a aprimorada técnica de se conseguir vãos relativamente grandes utilizando-se apenas estruturas comprimidas, onde apesar de todas as limitações que os procedimentos empíricos empunham na época, as técnicas construtivas que foram sendo refinadas ao longo de séculos acabaram produzindo resultados muito satisfatórios.



Figura 5: A Catedral de Reims.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Catedral_de_Reims.

Para Sabbatini (1984), a alvenaria por todo este tempo foi aplicada com métodos empíricos, intuitivos e baseada nas experiências anteriores. Alguns sábios da antiguidade elaboraram teorias que explicavam com certa eficiência aspectos isolados da capacidade de resistência da alvenaria, como Aristóteles e da Vinci, com a teoria do arco, e Leonard Euler, com a teoria da flambagem em pilares de alvenaria.

Entre 1889 e 1891 foi construído em Chicago o Edifício Monadnock que se tornou um símbolo clássico da alvenaria estrutural. Com seus 16 pavimentos e 65 metros de altura, foi considerado uma obra ousada, como se explorasse os limites dimensionais possíveis para edifícios de alvenaria (RAMALHO *et al*, 2003). A Figura 6 ilustra uma imagem atual desta obra.



Figura 6: O edifício Monadnock.
Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/07.076/321>.

O surgimento de novos materiais estruturais como o aço e o concreto armado e protendido, aliado às limitações da estrutural no que diz respeito a alterações arquitetônicas e ao comportamento à tração, fez com que a alvenaria fosse pouco utilizada como estrutura (CALÇADA, 1998).

Apenas por volta de 1920, se deu início ao estudo da alvenaria estrutural com embasamento científico e laboratorial. Com o auge da utilização do aço estrutural e do concreto armado, permitindo construir edificações com dimensões de peças estruturais mais esbeltas, o uso da alvenaria era aplicado apenas em construções de

porte baixo. Isso fez com que pesquisas com alvenaria praticamente parassem por um longo período (COSTA, 2010).

Segundo Armhein (1998), o mais alto edifício em alvenaria estrutural da atualidade é o Hotel Excalibur, em Las Vegas, EUA inaugurado em 1990. O complexo do hotel é formado por quatro torres principais com 28 pavimentos (Figura 7), cada uma contendo 1008 apartamentos.



Figura 7: Hotel Excalibur.
Fonte: <http://www.excalibur.com/pt-br/>.

No Brasil, a alvenaria com blocos estruturais utilizados no conceito de um sistema construtivo mais elaborado e voltado para a obtenção de edifícios mais econômicos e racionais, teve início em São Paulo, por volta de 1966 em um edifício residencial de 4 pavimentos, que foi executado com blocos de concreto.

Camacho (2006) considera que o marco inicial da construção de edifícios em alvenaria estrutural armada no País, foi em 1966 com a construção do Conjunto Habitacional Central Parque da Lapa (Figura 8) em São Paulo, edifícios com quatro pavimentos possuindo blocos de concreto com 19 cm de espessura.

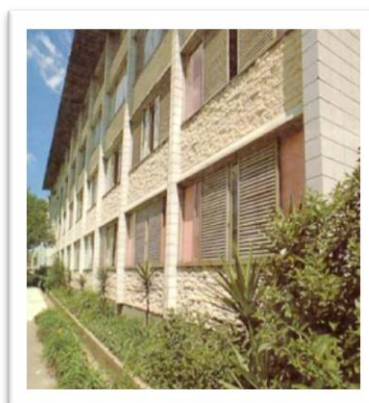


Figura 8: Conjunto Habitacional "Central Parque da Lapa" construído em 1966.
Fonte: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural25>.

Edifícios mais elevados foram construídos, também em São Paulo, 1972. O condomínio Central Parque da Lapa (Figura 9) tinha quatro blocos com 12 pavimentos em alvenaria armada com blocos de concreto (RAMALHO *et al*, 2003).



Figura 9: Conjunto Habitacional "Central Parque da Lapa" construído em 1972.
Fonte: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>.

Posteriormente, em São José dos Campos o edifício Muriti foi executado com 16 pavimentos em alvenaria armada em blocos de concreto, como mostra a Figura 10.

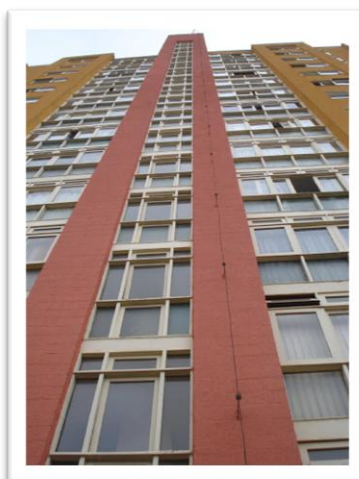


Figura 10: Edifício Muriti em São José dos Campos / SP.
Fonte: <http://picasaweb.google.com/lh/photo/Dfp6iRrM3-mAXF9udb9uyQ>.

Em alvenaria não armada, apenas em 1977 se tem notícias dos primeiros edifícios, com nove pavimentos. Essas edificações foram executadas com blocos sílico-calcáreos, com 24 cm de espessura para as paredes estruturais (RAMALHO *et al*, 2003).

No início da década de 1970, foram iniciadas pesquisas no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Estado de São Paulo, e no início da década de 1980 na Escola Politécnica da USP – Universidade de São Paulo. No final da década de

1980 e início dos anos 1990, o sistema ganhou força e as parcerias Universidade-Empresa permitiram a criação de materiais e equipamentos nacionais para produção de alvenaria (PARSEKIAN *et al*, 2012).

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) apesar da chegada tardia, o sistema acabou se firmando como uma alternativa eficiente e econômica para a execução de edificações residenciais e também industriais.

No Brasil atualmente o sistema construtivo em alvenaria estrutural tem experimentado um grande impulso. Devido à estabilização da economia, a concorrência tem feito com que um número crescente de empresas passe a se preocupar mais com os custos, acelerando as pesquisas e a utilização de novos materiais (RAMALHO *et al*, 2003).

Para Parsekian *et al* (2012, p. 90) é comum observar o uso de alvenaria estrutural em empreendimentos habitacionais de larga escala, onde as exigências de racionalização, planejamento, controle, rapidez e custo são mais bem contempladas pela opção do sistema de alvenaria estrutural.

Neste contexto de crescimento da construção no Brasil, segundo Ramalho e Corrêa (2003, p. 6), a alvenaria com blocos cerâmicos vem expandindo sua força com o surgimento de fornecedores confiáveis, que buscam atender todas as exigências normativas, com produtos de resistências superiores a 10 MPa, podendo-se admitir, num futuro próximo, que os blocos cerâmicos passarão a concorrer com os blocos de concreto em uso para edificações com mais de 10 pavimentos, apresentando um bom desempenho.

2.2. ASPECTOS POSITIVOS E NEGATIVOS DA ALVENARIA ESTRUTURAL

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) a alvenaria estrutural possui importantes aspectos técnicos e econômicos, quando comparados às estruturas convencionais em concreto armado, sendo estas apresentadas em ordem decrescente de importância:

- a) Economia de formas;
- b) Redução significativa nos revestimentos;
- c) Redução nos desperdícios de material e mão de obra;

- d) Redução do número de especialidades;
- e) Flexibilidade no ritmo de execução da obra.

Ainda para Ramalho e Corrêa (2003) apesar de as vantagens apresentadas serem de grande relevância, não se pode esquecer algumas desvantagens da alvenaria estrutural em relação às estruturas convencionais em concreto armado, são elas:

- a) Dificuldade de se adaptar arquitetura para um novo uso;
- b) Interferência entre projetos de arquitetura / estruturas / instalações;
- c) Necessidade de uma mão de obra bem qualificada;
- d) Impossibilidade de modificações na arquitetura original.

2.3. REFERÊNCIAS NORMATIVAS EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Após a 2ª Guerra Mundial surgiram vários códigos de obras e normas pela Europa e nos Estados Unidos, proporcionando uma grande expansão na utilização deste sistema construtivo. O primeiro código americano de alvenaria estrutural foi publicado em 1965 (PARSEKIAN *et al*, 2012).

As normas relacionadas a seguir são indispensáveis à aplicação da NBR 15812-1 Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos e da NBR 15961-1 Alvenaria estrutural – blocos de concreto.

De acordo com a ABNT a primeira norma brasileira que faz referência a alvenaria estrutural foi publicada em 1977, a NBR 5706 – Coordenação modular da construção, tendo como objetivo fixar as bases, nomenclaturas e definições para um sistema que coordene as medidas dos componentes da construção, desde o projeto até a execução.

Em 1982 foi publicada a NBR 5718 – Alvenaria modular, com o objetivo de fixar as condições exigíveis que se devem aplicar a alvenaria modular e a NBR 5729 – Princípios fundamentais para a elaboração de projetos coordenados modularmente, objetivando fixar condições exigíveis a serem observadas na elaboração de projetos coordenados modularmente. Em 2010 a NBR 5718 e a NBR 5729 juntamente com a NBR 5706 foram canceladas e substituídas pela NBR 15873

– Coordenação modular para edificações, que define os termos, o valor do módulo básico e os princípios da coordenação modular para edificação.

Em 1980 foi publicada a NBR 6120 – Cargas para cálculo de estruturas de edificações, que passou por correções em 2000, esta norma fixa as condições exigíveis para a determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos para determinação dos valores das cargas que devem ser consideradas no projeto de estrutura de edificações, qualquer que seja sua classe e destino, salvo os casos previstos em normas especiais.

Na sequência a NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações foi publicada em 1988 e revisada em 1990, esta norma fixa as condições exigíveis na consideração das forças devidas à ação estática e dinâmica do vento, para efeitos de cálculo de edificações.

A NBR 6136 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos, teve sua publicação em 1994 e última revisão em 2007, onde estabelece os requisitos para recebimento de blocos vazados de concreto simples destinados à execução de alvenaria com ou sem função estrutural.

A NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas, passou pela sua última revisão em 2003, substituindo a versão anteriormente publicada em 1984, seu objetivo é fixar os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destinos, salvo os casos previstos em normas específicas.

A primeira norma técnica publicada que diretamente a alvenaria estrutural, foi publicada em 1985 a NBR 8949 – Paredes de alvenaria estrutural – Ensaio à compressão simples, a qual prescreve o método de preparo e de ensaio de paredes estruturais submetidas à compressão axial, construídas com blocos de concreto, blocos cerâmicos ou tijolos.

As normas relacionadas a argamassas foram publicadas em 2005, sendo NBR 13279 – Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão, e a NBR 13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos, onde a primeira estabelece o método para determinação da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão de argamassas para assentamento e revestimento de

paredes e tetos, no estado endurecido, e a segunda especifica os requisitos exigíveis para a argamassa utilizada em assentamento e revestimento de paredes e tetos.

Em 1999 foram publicadas as normas referentes a paredes de alvenaria estrutural, a NBR 14321 – Paredes de alvenaria estrutural – Determinação da resistência ao cisalhamento, que prescreve o método para a determinação da tensão convencional de cisalhamento da alvenaria (τ_{alv}) e o seu módulo de deformação transversal (G_{alv}) em paredes estruturais, e a NBR 14322 – Paredes de alvenaria estrutural – Verificação da resistência à flexão simples ou à flexo-compressão, que prescreve o método para verificação da resistência de paredes de alvenaria estrutural submetidas à flexão simples ou à flexo-compressão, construídas com blocos vazados de concreto.

A norma NBR 15270 que faz referência aos componentes cerâmicos foi publicada em 2005 e subdividida em 3 partes, sendo a Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos, que define os termos e fixa os requisitos dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis no recebimento de blocos cerâmicos de vedação a serem utilizados em obras de alvenaria de vedação, com ou sem revestimento. A Parte 2: Blocos cerâmicos de alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos, com as mesmas definições da parte 1, só que para blocos de alvenaria estrutural. A terceira e última parte desta norma, (Parte 3) destina-se aos Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio e estabelece os métodos para execução dos ensaios dos blocos cerâmicos estruturais e de vedação.

Em 15 abril de 2010 a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 15812 – Alvenaria Estrutural – Blocos Cerâmicos, que em sua primeira parte estabelece requisitos para o projeto de estruturas executadas com blocos cerâmicos.

Para Lanna (2010) que participou da elaboração da norma, essa norma traz parâmetros relacionados aos tipos de blocos cerâmicos usualmente fabricados no Brasil, de modo que os projetos passem a ser concebidos com base em padronização mais clara e critérios mais rígidos, com base na realidade brasileira. Pois até então os parâmetros adotados eram provenientes de normas estrangeiras.

Além do peso próprio, as estruturas concebidas e executadas com base na nova norma têm plena capacidade de suportar sobrecargas dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15812 (LANNA, 2010).

Lanna (2010) define alvenaria estrutural como uma tecnologia segura, durável e econômica para obras industriais, comerciais e habitacionais de múltiplos pavimentos.

Na sequência a ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou em 18 de julho de 2011 a NBR 15961 – Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto, que em sua primeira parte estabelece critérios para o desenvolvimento de projetos de estruturas em blocos de concreto.

Para Parsekian (2012) a norma prioriza o controle e o projeto baseados em dimensões precisas e em procedimentos para correções. A norma ainda define regras para paredes estruturais ou não, suas resistências à compressão, as diretrizes para verificação de dano acidental e colapso progressivo e também critérios para dimensionamento.

2.4. DEFINIÇÕES EM ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é formada por um conjunto de definições que são apresentadas na NBR 15812 – Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos – Parte 1 e na NBR 15961 – Alvenaria estrutural – Parte 1, da seguinte forma:

- Componente: menor unidade que compõe um elemento da estrutura, incluindo:
 - a) Bloco: a unidade básica que forma a alvenaria;
 - b) Junta de argamassa: componente utilizado na ligação entre os blocos;
 - c) Reforço de graute: componente utilizado para preenchimento de espaços vazios de blocos com a finalidade de solidarizar armaduras à alvenaria ou aumentar sua capacidade resistente.
- Elemento: parte da estrutura suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes:
 - a) Elemento de alvenaria não armado: elemento de alvenaria no qual a armadura é desconsiderada para resistir aos esforços solicitantes;
 - b) Elemento de alvenaria armado: elemento de alvenaria no qual são utilizadas armaduras passivas que são consideradas para resistência dos esforços solicitantes (definição alterada em relação a outras

- normas mais antigas, que exigia taxa de armadura mínima para todos elementos da construção para ser considerada alvenaria armada);
- c) Elemento de alvenaria protendido: elemento de alvenaria no qual são utilizados armaduras ativas impondo uma pré-compressão antes do carregamento.
- Parede estrutural ou não estrutural:
 - a) Estrutural: toda parede admitida como participante da estrutura (serve de apoio às lajes e a outros elementos da construção);
 - b) Não estrutural: toda parede não admitida como participante da estrutura (apoia e impõe um carregamento às lajes ou a outro elemento da estrutura);
 - Verga, contraverga, cinta ou coxim:
 - a) Verga: elemento estrutural colocado sobre os vãos de aberturas com a finalidade exclusiva de resistir a carregamentos, usualmente composta de uma ou mais canaletas grauteadas e armadas;
 - b) Contraverga: elemento estrutural colocado sob os vãos de aberturas; tem por finalidade resistir a tensões concentradas nos cantos da abertura, usualmente composta de uma canaleta grauteada e armada;
 - c) Cinta: elemento estrutural apoiado continuamente na parede, ligado ou não às lajes, vergas ou contravergas, usualmente composta de uma canaleta grauteada e armada; tem por finalidade distribuir cargas continuamente apoiadas sobre a parede, ou a resistência da parede para a ação fora do plano da parede ou na direção horizontal do plano da parede. Geralmente é composta de uma fiada de canaletas armadas;
 - d) Coxim: elemento estrutural não contínuo, apoiado na parede, para distribuir cargas concentradas, normalmente composto de canaleta grauteada ou peça de concreto armado.

A Figura 11 ilustra a disposição dos componentes verga, contraverga, graute e armadura.

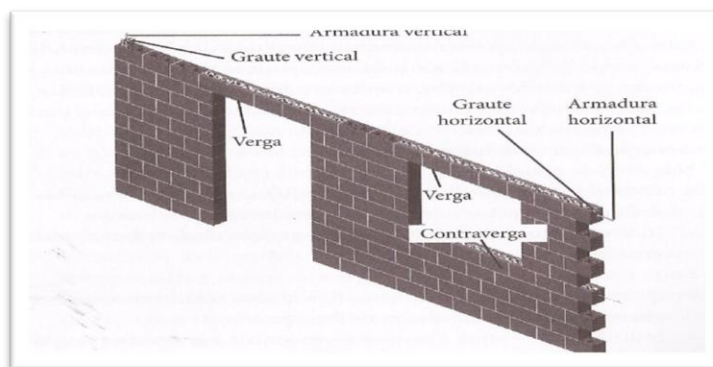


Figura 11: Verga, contraverga, graute e armadura
 Fonte: Parsekian et al (2012, p64)

- Enrijecedor: Elemento usualmente de alvenaria, vinculado a uma parede estrutural, com a finalidade de produzir um enrijecimento na direção perpendicular ao seu plano; geralmente utilizado quando a parede está sujeita à ação lateral fora do seu plano ou em paredes altas.
- Diafragma: elemento estrutural laminar admitido como rígido em seu próprio plano, sendo normalmente a laje de concreto armado que distribui as cargas horizontais para as paredes.
- Área bruta, líquida ou efetiva: estas áreas são apresentadas na Figura 12.
 - a) Bruta: área de um componente (bloco) ou elemento (parede) considerando-se as suas dimensões externas, desprezando-se a existência de vazios;
 - b) Líquida: área de um componente (bloco) ou elemento (parede) considerando-se as suas dimensões externas, descontada a existência dos vazios;
 - c) Efetiva: área de um componente (parede) considerando apenas a região sobre a qual a argamassa de assentamento é distribuída, desconsiderando os vazios.

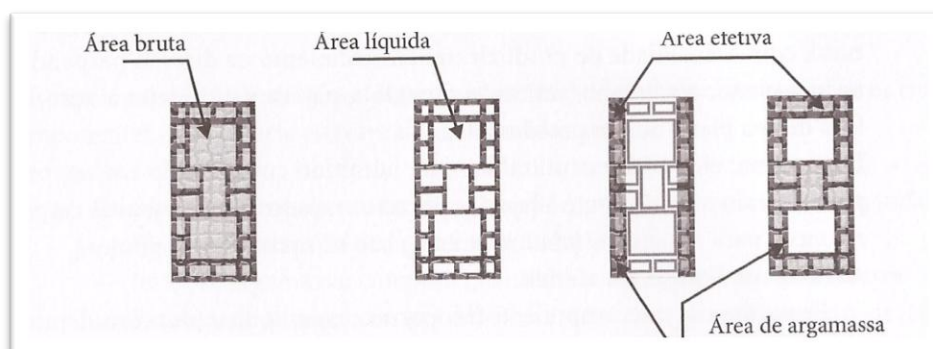


Figura 12: Área bruta, área líquida e área efetiva
 Fonte: Parsekian et al (2012, p64)

- Prisma: corpo de prova obtido pela superposição de blocos unidos por junta de argamassa (Figura 13), grauteados ou não, a ser ensaiado a compressão. Oferece informação básica sobre resistência à compressão da alvenaria e é o principal parâmetro para projeto e controle da obra.



Figura 13: Prisma de 2 blocos
Fonte: Parsekian e Soares (2010, p20)

- Amarração direta ou indireta
 - a) No plano da parede:
 - ✓ Direta: padrão de distribuição dos blocos no qual as juntas verticais se defasam de, no mínimo, $1/3$ do comprimento dos blocos;
 - ✓ Indireta (não amarrada): quando o padrão de distribuição dos blocos não atende o acima (junta prumo).
 - b) Entre as paredes:
 - ✓ Direta: existe intertravamento dos blocos obtido com a interpretação alternada de 50% das fiadas de uma parede na outra;
 - ✓ Indireta: existe junta a prumo no encontro das paredes, sem sobreposição dos blocos, devendo existir uma armação metálica (grampos ou telas) sobre a junta entre as paredes.
- Pilar ou parede: elementos que resistem predominantemente a cargas de compressão, sendo considerado:
 - ✓ Pilar: elemento cuja maior dimensão da seção transversal não excede cinco vezes a menor dimensão;
 - ✓ Parede: elemento cuja maior dimensão da seção transversal não excede cinco vezes a menor dimensão.
- Vão efetivo: no dimensionamento de elementos estruturais define-se o vão efetivo como a soma da distância entre as faces internas dos apoios –

acrescida, em cada lado, do menor valor a distância da face ao eixo do apoio e altura da viga / dividida por dois.

2.5. DIMENSIONAMENTO EM ALVENARIA ESTRUTURAL

Para Parsekian *et al* (2012) as alvenarias estruturais em edifícios funcionam como elementos estruturais, suportando ou resistindo aos carregamentos e ações, e também elementos de vedação ou arquitetônicos, dividindo ou protegendo os ambientes.

De modo que o processo de elaboração do projeto é sequencial e interativo com decisões feitas para escolher a melhor alternativa, desde as necessidades do cliente até a apresentação do projeto executivo.

Na alvenaria estrutural o projeto final da estrutura inclui verificações detalhadas de cada elemento e compatibilização com as instalações (PARSEKIAN *et al*, 2012).

Um ponto importante a ser colocado é que o esforço predominante na alvenaria é a compressão simples causada pelas cargas verticais. Outros esforços possíveis são os de tração simples, tração na flexão, compressão na flexão e cisalhamento (PARSEKIAN e SOARES, 2010).

Em geral as estruturas de alvenaria estão sujeitas a várias ações de natureza distintas. A NBR 8681 (2003) – Procedimento define ações como causas que provocam esforços ou deformações nas estruturas. Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas. A NBR 8681 (2003) classifica estas ações da seguinte maneira:

- Ações permanentes: são as que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua própria média, durante praticamente toda a vida da construção. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas;

- Ações variáveis: são as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção;
- Ações excepcionais: são as que têm a duração extremamente curta e muita baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.

A Tabela 1 indica as várias naturezas de ações que podem ocorrer em estruturas.

Tabela 1: Classificação das ações - NBR 6120 (1980).

PERMANENTES	Diretas	Peso próprio
		Peso dos elementos de construção
		Peso dos elementos fixos
		Empuxo de terra e líquidos
	Indiretas	Recalques
		Retração
VARIÁVEIS	Diretas	Fluência
		Erros de execução geométricos
		Protensão
	Indiretas	Cargas acidentais
		Ação do vento
		Cargas de construção
EXCEPCIONAIS	Indiretas	Variação de temperatura
		Ações dinâmicas
		Furacão
		Terremotos
		Explosões

A tabela acima expõe de forma resumida as ações diretas e indiretas que devem ser consideradas no dimensionamento estrutural de um projeto em alvenaria estrutural.

2.5.1 Ações Verticais

Segundo Parsekian *et al* (2012) as ações verticais são definidas pela norma NBR 6120 (1980) – Cargas para cálculo de estruturas de edificações. Para cálculo

das ações verticais permanente, como peso próprio da estrutura e dos elementos de construção, podem-se utilizar os valores do peso específico dos materiais, constantes na norma e apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Peso específico dos materiais de construção - NBR 6120 (1980).

	Materiais	Peso específico aparente (kN/m³)
Rochas	Arenito	26
	Basalto	30
	Gneiss	30
	Granito	28
	Mármore e Calcário	28
Blocos artificiais	Blocos de argamassa	22
	Cimento amianto	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Tijolos furados	13
	Tijolos maciços	18
	Tijolos Silico-calcários	20
Revestimentos e concreto	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cimento e areia	21
	Argamassa de gesso	12,5
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
Madeiras	Pinho, cedro	5
	Louro, imbuia, pau-óleo	6,5
	Guajuvirá, guatambu, grápia	8
	Angico, cabriúva, ipê-róseo	10
Metais	Aço	78,5
	Alumínio e ligas	28
	Bronze	85
	Chumbo	114
	Cobre	89
	Ferro fundido	72,5
	Estanho	74
	Latão	85
	Zinco	72
Materiais Diversos	Alcatrão	12
	Asfalto	13
	Borracha	17
	Papel	15
	Plástico em folhas	21
	Vidro plano	26

Para Ramalho e Corrêa (2003) as cargas a serem consideradas em uma edificação dependem do tipo e da utilização desse edifício, o para onde os valores mínimos a serem adotados para os carregamentos fazem parte da NBR 6120 – Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações.

As ações verticais acidentais, de uso da edificação, são adotadas de acordo com a Tabela 3. Para edifícios comerciais deve-se considerar uma carga acidental de 2,0 kN/m³ nas lajes de piso de escritórios e banheiros e de 1,5 kN/m³ em salas de diretoria e de gerência (PARSEKIAN *et al*, 2012).

Tabela 3: Valores mínimos de cargas acidentais - NBR 6120 (1980).

	Local	Carga (kN/m ²)
Arquibancadas		4
Balcões	Mesma carga da peça com a qual se comunicam a uma carga horizontal de 0,8 kN/m na altura do corrimão e uma carga vertical mínima de 2 kN/m na borda do balcão	
Bancos	Escritórios e banheiros	2
	Salas de diretoria e de gerência	1,5
Bibliotecas	Sala de leitura	2,5
	Sala para depósito de livros	4
	Sala com estantes de livros, a ser determinada em cada caso ou de 2,5 kN/m ² por metro de altura, observado, porém, o valor mínimo	6
Casas de máquinas	Incluindo o peso das máquinas; a ser determinada em cada caso, porém com valor mínimo de	7,5
	Plateia com assentos fixos	3
Cinemas	Estúdio e plateia com assentos móveis	4
	Banheiro	2
Clubes	Sala de refeições e de assembleia com assentos fixos	3
	Sala de assembleia com assentos móveis	4
	Salão de danças e salão de esportes	5
	Sala de bilhar e banheiro	2
Corredores	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2
Cozinha não residenciais	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
Depósitos	terminada em cada caso e, na falta de valores experimentais, conforme o indicado na tabela 2	
Edifícios residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2
Escadas	Com acesso ao público	3
	Sem acesso ao público	2,5
Escolas	Anfiteatro com assentos fixos, corredor e sala de aula	3
	Outras salas	2
Escritórios	Salas de uso geral e banheiro	2
Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
Galerias de arte	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
Galerias de lojas	A ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
Garagens e estacionamento	Para veículos de passageiros ou semelhantes com carga máxima de 25 kN por veículo	3
Ginásio de esportes		5
Hospitais	Dormitórios, enfermarias, sala de recuperação, sala de cirurgia, sala de raio X e banheiro	2
	Corredor	3
Laboratórios	Incluindo equipamentos, a ser determinada em cada caso, porém com o mínimo de	3
Lavanderias		3
Lojas		4
Restaurantes		3
Teatros	Palco	5
	Demais dependências: cargas iguais às especificadas para cinemas	-
Terraços	Sem acesso ao público	2
	Com acesso ao público	3
	Inacessível a pessoas	0,5
	Destinado a heliportos elevados: as cargas deverão ser fornecidas pelo órgão competente do Ministério da Aeronáutica	-
Vestíbulo	Sem acesso ao público	1,5
	Com acesso ao público	3

Outro fator importante é o peso próprio das paredes que pode ser obtido através da Equação 1:

$$p = \gamma \cdot e \cdot h \quad (1)$$

Em que:

p é o peso da alvenaria (por unidade de comprimento);

γ é o peso específico da alvenaria;

e é a espessura da parede (bloco + revestimento);

h é a altura da parede

Ramalho e Corrêa (2003) consideram o valor de γ (peso específico da alvenaria), o parâmetro mais importante e que deve considerar as condições específicas da alvenaria utilizada. Os principais tipos utilizados em alvenaria estrutural são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Pesos específicos para alvenaria estrutural – (PARSEKIAN *et al*, 2012).

Tipo de alvenaria	Peso específico kN/m ³
Blocos vazados de concreto	14
Blocos vazados de concreto preenchidos com graute	24
Blocos cerâmicos	12

2.5.2. Ações Horizontais

De acordo com Ramalho e Corrêa (2003) no Brasil, as ações horizontais que devem ser consideradas são a ação dos ventos e o desaprumo. Eventualmente podem ocorrer empuxos desequilibrados do solo. Em caso de áreas sujeitas a abalos sísmicos, a sua consideração também é indispensável.

2.5.2.1. Ação do vento

Para Parsekian *et al* (2012) a ação do vento deve ser considerada em praticamente todas as estruturas. O vento ocorre por diferença de pressões na atmosfera, causando movimento do ar. Quando há uma barreira a essa movimentação (por exemplo, um prédio), ocorre a força ou ação do vento.

Esta ação pode se manifestar na horizontal (em fachadas verticais) ou na vertical ou inclinada (em coberturas), ou ainda se manifestar na forma de pressão ou sucção nas áreas internas e externas das edificações.

Para consideração da ação do vento, deve-se utilizar a NBR 6123 (ABNT, 1989) – Forças devidas ao vento em edificações. Dessa forma obtêm-se forças, ao nível de cada pavimento que serão distribuídos pelos painéis de contraventamento segundo os procedimentos recomendados (RAMALHO *et al*, 2003).

A força do vento a ser utilizada no projeto depende dos seguintes fatores:

- Local (cidade);
- Dimensões da edificação;
- Tipo de terreno (plano, morro, topo de montanha);
- Rugosidade do terreno (livre, com obstáculos);
- Tipo de ocupação (residencial, depósito, etc).

De forma resumida Parsekian e Soares (2010) apresentam o roteiro para cálculo da ação do vento da NBR 6123 (1989) – Forças devido ao vento em edificações, da seguinte maneira:

- 1) Define-se V_0 (velocidade básica do vento) que é obtido através de registros históricos em estações distribuídas pelo Brasil e que servirá de parâmetro para os demais cálculos;
- 2) Define-se S_1 (fator topográfico) que varia em função do tipo de terreno;
- 3) Calcula-se S_2 (fator rugosidade do terreno) que considera a classe da edificação e a categoria do terreno como parâmetros para obter seus valores, pela Equação 2:

$$S_2 = b \cdot F_r \cdot (z/10)^p \quad (2)$$

Onde::

F_r é o fator de rajada;

z é a altura do ponto (m) onde se quer calcular a velocidade;

b é o parâmetro meteorológico;

p é o expoente da lei potencial de variação de S_2 .

- 4) Define-se S_3 (fator estatístico) que é baseado em conceitos estatístico e considera o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação;
- 5) Define-se o vento de alta ou baixa turbulência;
- 6) Calcula-se o C_a (coeficiente de arrasto) para cada direção X e Y;
- 7) Calcula-se a área de fachada/pavimento para cada direção de X, Y e cada pé-direito do pavimento;
- 8) Para cada altura (z) e direção X e Y, calcula-se S_2 , V_k (velocidade característica do vento), a pressão estática do vento (q) e a força de arrasto (F_a), pela Equação 3:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (3)$$

Onde:

S_1 é fator topográfico;

S_2 é fator rugosidade do terreno;

S_3 é fator estatístico em função do uso do terreno.

2.5.2.2. Desaprumo

Ramalho e Corrêa (2003) sugere que o desaprumo seja considerado tomando-se por base a norma alemã DIN 1053 – Alvenaria: Cálculo e Execução. Sua prescrição para esse caso é bastante razoável, sendo que o ângulo para desaprumo do eixo da estrutura tomado em função da altura da edificação, é obtido através da Equação 4.

$$\varphi = \frac{1}{100 \sqrt{H}} \quad (4)$$

Onde:

φ é ângulo em radianos;

H é altura da edificação em metros.

Trata-se de um procedimento racional no qual o ângulo de desaprumo decresce em relação à altura da edificação, pois a probabilidade de erros de prumo dos pavimentos sempre para o mesmo lado é relativamente pequena (RAMALHO *et al*, 2003).

A equação apresentada se dá através da análise ilustrada na Figura 14.

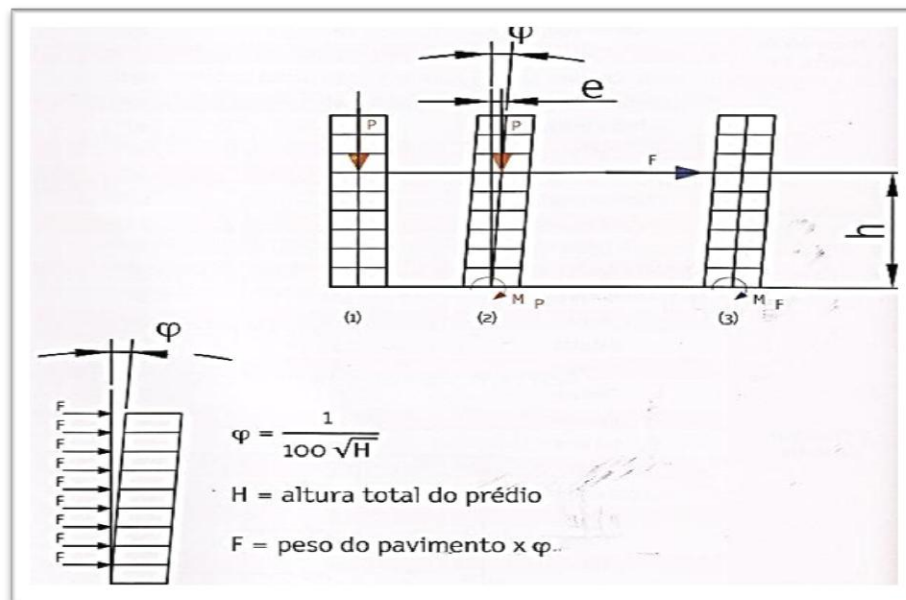


Figura 14: Análise da equação do desaprumo
Fonte: Parsekian e Soares (2010, p138)

2.5.2.3. Distribuição das ações horizontais por paredes isoladas

Para Ramalho e Corrêa (2003) considerar paredes de forma isolada é um procedimento de distribuição de ações horizontais que pode ser muito simples e eficiente. Sobretudo em casos de ações que atuem segundo os eixos de simetria da estrutura.

Nesse caso, supõe-se que a existência de uma abertura que separe as paredes adjacentes a essa abertura, transformando-as em elementos isolados,

verdadeiras vigas engastadas na extremidade inferior e livre na outra (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

Para se obter o carregamento total em cada parede, basta sistematizar os dados, anotando para cada parede a reação da laje (permanente e acidental), seu peso próprio e de aberturas laterais e eventuais outros carregamentos (PARSEKIAN *et al*, 2010).

2.5.3. Dimensionamento à Compressão Simples

Até a publicação da nova norma NBR 15812 (2010) parte 1, o dimensionamento era feito através da carga admissível da parede. O critério foi modificado e atualmente é preciso verificar o estado limite último (PARSEKIAN E SOARES, 2010).

Em relação à nova norma NBR 15812 (2010) parte 1 – Alvenaria estrutural – Blocos cerâmicos - Projetos, Parsekian e Soares (2010) destacam que a possibilidade de utilizar a armadura para aumentar a resistência à compressão de alvenarias não é considerada, e que a resistência de prisma passa a ser considerada com seu valor característico e não médio. Posteriormente este critério também foi validado para a NBR 15961 (2011) parte 1 – Alvenaria estrutural – Blocos de concreto – Projeto.

O dimensionamento à compressão simples se dá a partir da aplicação da Equação 5:

$$\gamma_f \cdot N_k \leq \frac{0,7 f_{pk}}{\gamma_m} \left[1 - \left(\frac{h_{ef}}{40t_{ef}} \right)^3 \right] * A \quad (5)$$

Onde:

N_k carregamentos verticais;

f_{pk} resistência característica de compressão simples do prisma;

γ_m coeficiente de ponderação das resistências;

h_{ef} altura do pé direito;

t_{ef} espessura efetiva;

A área bruta da seção transversal;

Segundo Parsekin (2012) é possível adotar o modelo de uniformização total das cargas em grupos de paredes, para casos de edifícios com vários andares, com paredes extensas e significativa concentração de cargas em pontos localizados.

Esta uniformização pode ser feita a partir da simplificação de Equação 4, considerando:

$$\gamma_f = 1,4; \quad \gamma_m = 2,0$$

$$N_k = G_k + Q_k$$

$$A = L \times t \quad (t=0,14 \text{ para todas as paredes})$$

$$h_{ef} = 2,71\text{m}; \quad t_{ef} = 0,14$$

Simplificação:

$$f_{pk} \geq \frac{\gamma_f \cdot N_k \cdot \gamma_m}{0,7 \cdot \left[1 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{40t_{ef}} \right)^3 \right] \cdot A}$$

$$f_{pk} \geq \frac{1,4 \cdot (G_k + Q_k) \cdot 2,0}{0,7 \cdot 0,887 \cdot (L \cdot 0,14)}$$

$$f_{pk} \geq 32,21 \cdot \frac{(G_k + Q_k)}{L} \quad (6)$$

Onde:

f_{pk} resistência característica de compressão simples do prisma;

G_k peso próprio da laje;

Q_k carga acidental da laje;

L comprimento da parede.

Com esta simplificação da Equação 6 é possível definir a resistência característica de compressão simples do prisma, o f_{pk} para cada parede isoladamente.

Posteriormente são definidos os grupos de paredes para uniformização do carregamento, onde a carga distribuída em cada parede do grupo será a soma do carregamento em todas as paredes dividida pela soma do comprimento de todas as paredes.

2.5.4. Dimensionamento ao Cisalhamento

O cisalhamento ocorre normalmente em conjunto com a solicitação por momento fletor. Vergas, vigas ou paredes que participam do sistema de contraventamento são os elementos nos quais o cisalhamento deve ser usualmente verificado (RAMALHO *et al*, 2003).

Essas tensões de cisalhamento na alvenaria seguem o critério de resistência de Coulomb (Equação 7), existindo uma parcela inicial da resistência devido a aderência que aumenta em função do nível de pré-compressão (PARSEKIAN *et al*, 2010).

$$\zeta = \zeta_0 + \mu\sigma \quad (7)$$

Onde:

ζ é a resistência ao cisalhamento

ζ_0 é a aderência inicial;

$\mu\sigma$ é o nível de pré-compressão.

Segundo as normas NBR 15812 (2010) parte 1 e a NBR 15961 (2011) parte 1, o valor característico da resistência convencional ao cisalhamento f_{vk} é igual ao descrito na Tabela 4. Na qual se deve destacar que os valores indicados são válidos para argamassas tradicionais de cimento, cal e areia, sem aditivos ou adições.

Para Parsekin e Soares (2010), alvenarias construídas com argamassas industrializadas produzidas com aditivos devem ter sua resistência ao cisalhamento avaliada em ensaios.

Tabela 5: Resistência média de compressão da argamassa - NBR 15812 (2010).

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

O valor da tensão de pré-compressão σ deve ser calculado considerando apenas ações permanentes, minoradas do coeficiente de redução igual a 0,9.

A resistência característica ao cisalhamento na interseção de paredes com juntas amarradas não deve ser tomada maior que 0,35MPa.

Para peças de alvenaria estrutural, submetidas à flexão, e quando existirem armaduras perpendiculares ao plano do cisalhamento e envoltas por graute, a resistência característica ao cisalhamento pode ser obtida pela Equação 8.

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

Onde:

$\rho = \frac{A_s}{bd}$ é a taxa geométrica de armadura;

A_s é a área de armadura principal de flexão;

b é a largura da seção transversal;

d é a altura útil da seção transversal.

Para vigas de alvenaria estrutural bi-apoiadas ou em balanço ambas as normas recomendam que a resistência característica ao cisalhamento deve ser multiplicada pelo fator:

$$x = [2,5 - 0,25M_{\max} / V_{\max} d] \quad (9)$$

Considerando-se que:

- a) x deverá ser sempre maior que 1,0, desde que a resistência característica majorada não ultrapasse 1,75 Mpa;
- b) M_{\max} é o maior valor do momento de cálculo na viga;
- c) V_{\max} é o maior valor do esforço cortante de cálculo na viga;
- d) d é a altura útil da seção transversal da viga;

2.5.5. Dimensionamento à Flexocompressão

Para Parsekian e Soares (2010) além do carregamento vertical, é comum as paredes estarem sujeitas a ações laterais. Em edifícios sempre haverá um carregamento vertical e um horizontal, geralmente devido ao vento, gerando esforços de flexão, compressão e cisalhamento.

No caso de alvenaria não armada, as normas NBR 15812 (2010) parte 1 – Alvenaria Estrutural – Blocos Cerâmicos – Projeto e a NBR 15961 (2011) parte 1 – Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto – Projeto, recomendam que as tensões normais na seção transversal devem ser obtidas mediante a superposição das tensões normais lineares devidas ao momento fletor com as tensões normais uniformes devidas à força de compressão.

De modo que as tensões normais de compressão satisfaçam a Equação 10:

$$\frac{N_d}{A.R} + \frac{M_d}{W.K} \leq f_d \quad (10)$$

Onde:

N_d é a força normal de cálculo;

M_d é o momento fletor de cálculo;

f_d é a resistência de cálculo à compressão da alvenaria;

A é área de seção resistente;

W é o mínimo módulo de resistência de flexão da seção resistente;

R é o coeficiente redutor devido à esbeltez do elemento;

$K = 1,5$ é o fator que ajusta a resistência à compressão.

Caso exista tensão de tração, seu valor máximo deverá ser menor ou igual à resistência de tração da alvenaria f_{td} .

Para as alvenarias armadas ambas as normas admitem como curto o elemento que possui esbeltez menor ou no máximo igual a 12. Nesses casos, permite-se que o dimensionamento de acordo com as aproximações a seguir, apropriadas para flexão reta de elementos de seção retangular. Para seções transversais não retangulares devem ser feitas as adaptações necessárias,

obedecidas às hipóteses previamente estabelecidas no item 11.1 da NBR 15961-1 (2011).

Quando a força normal de cálculo não exceder a normal resistente de cálculo apresentada na Equação 11, fica sendo necessária apenas a armadura mínima indicada no item 12.2 que trata das armaduras mínimas da mesma norma:

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot (h - 2e_x) \quad (11)$$

Onde:

b é a largura da seção;

e_x é a excentricidade resultante no plano de flexão;

f_d é a resistência de cálculo a compressão;

h altura da seção no plano de flexão.

No caso de a excentricidade e_x exceder $0,5h$ a aproximação não poderá ser aplicada.

Sempre que a força normal de cálculo exceder o limite da equação 10, a resistência da seção poderá ser estimada através das seguintes expressões:

$$N_{Rd} = f_d \cdot b \cdot y + f_{s1} \cdot A_{s1} - f_{s2} \cdot A_{s2} \quad (12)$$

$$M_{Rd} = 0,5 \cdot f_d \cdot b \cdot y \cdot (h - y) + f_{s1} \cdot A_{s1} \cdot (0,5h - d_1) + f_{s2} \cdot A_{s2} \cdot (0,5h - d_2) \quad (13)$$

Nas quais:

A_{s1} é a área de armadura comprimida na face de maior compressão

A_{s2} é a área de armadura na outra face

b é a largura da seção

d_1 é a distância da armadura A_{s1} à borda mais comprimida

d_2 é a distância do centroide da armadura A_{s2} à outra borda

y é a profundidade da região de compressão uniforme ($y=0,8x$)

f_d é a resistência de cálculo à compressão da alvenaria

f_{s1} é a tensão na armadura na face mais comprimida = σ_{s1} , f_{yd}

f_{s2} é a tensão na armadura na outra face, podendo ser $\pm \sigma_{s2}$, f_{yd} se estiver tracionada ou comprimida

h é a altura da seção

O valor de y deve ser tal que os esforços resistentes de cálculo superem os atuantes.

Quando necessário considerar o elemento curto submetido a uma flexão composta oblíqua, pode-se dimensionar uma seção com armaduras simétricas, mediante a transformação em uma flexão reta composta, aumentando-se um dos momentos fletores, de acordo com as Equações 14 e 15:

$$M'_x = M_x + j \frac{p}{q} M_y \quad \text{para} \quad \frac{M_x}{p} \geq \frac{M_y}{q} \quad \text{ou;} \quad (14)$$

$$M'_y = M_y + j \frac{q}{p} M_x \quad \text{para} \quad \frac{M_x}{p} \geq \frac{M_y}{q} \quad (15)$$

Nas quais

M_x é o momento fletor em torno do eixo x

M_y é o momento fletor em torno do eixo y

M'_x é o momento fletor efetivo em torno do eixo x

M'_y é o momento fletor efetivo em torno do eixo y

p é a dimensão da seção transversal na direção perpendicular ao eixo x

q é a dimensão da seção transversal na direção perpendicular ao eixo y

j é o coeficiente fornecido pela tabela 11 da norma.

No caso de elementos comprimidos com índice de esbeltez superior a 12, as normas recomendam que o dimensionamento deve ser feito de acordo com o exposto para elementos curto, sendo que aos efeitos de primeira ordem é necessário adicionar os efeitos de segunda ordem. Na ausência de determinação mais precisa o momento de segunda ordem pode ser aproximado por (Equação 16):

$$M_{2d} = \frac{N_d \cdot (h_e)^2}{2000t} \quad (16)$$

Onde:

M_{2d} é o momento de segunda ordem;

N_d é a força normal de cálculo;

h_e é a altura do elemento comprimido;

t é a dimensão da seção transversal da peça.

3. METODOLOGIA

3.1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas, sendo a primeira teórica e a segunda utilizando-se um estudo comparativo de dimensionamento de um edifício em alvenaria estrutural.

Na primeira etapa realizou-se uma pesquisa bibliográfica sobre o tema alvenaria estrutural, dimensionamento e projeto, a qual possibilitou a escolha de um método de cálculo para o desenvolvimento do estudo comparativo.

Na segunda etapa, para fins de comparação entre o dimensionamento de um edifício comercial com oito pavimentos empregando blocos de concreto e blocos cerâmicos, através do método de Paredes Isoladas e de acordo com as recomendações das normas NBR 15812-1(2010) e NBR 15961-1(2011), desenvolveu-se um projeto de um edifício com 8 pavimentos em alvenaria estrutural, cujas as características são apresentadas a seguir.

3.2. CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Para o modelo de projeto, considerou-se um edifício comercial (escritórios) de oito pavimentos, situado na cidade da Cascavel – PR, cuja a estrutura e modulação é apresentada na Figura 15.

A área do pavimento tipo é de 99,11m² e pé-direito livre de piso a teto de 2,70m que foi alterado para 2,71 para seguir a modulação vertical utilizando blocos J e compensadores na última fiada, que estão distribuídos em duas unidades comerciais por pavimento, sendo o primeiro apoiado diretamente sobre o solo e os demais em lajes de concreto armado com espessura de 9cm, que por sua vez se

apoiam em paredes de alvenaria estrutural em dois modelos, o primeiro utilizando blocos cerâmicos e o segundo utilizando blocos de concreto.

A Figura 15 ilustra a distribuição das salas e banheiros em cada pavimento tipo.

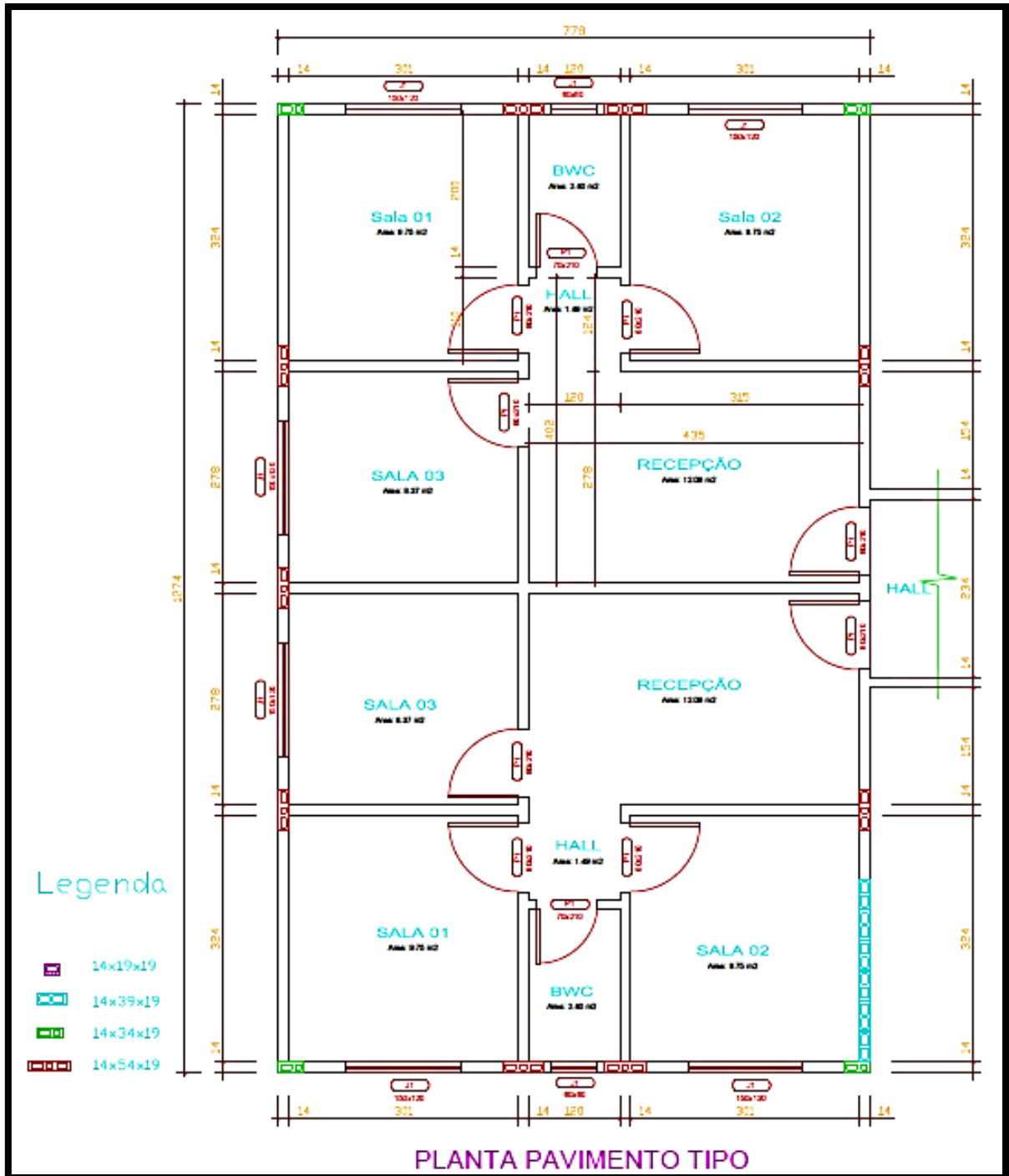


Figura 15 – Planta baixa do pavimento tipo
Fonte: Autoria própria

3.3. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

Na fase inicial do projeto definiu-se que a modulação seria feita coma família de bloco 14x29 para todas as paredes.

Para os cálculos que se seguem foi aplicado o método das Paredes Isoladas para o dimensionamento estrutural empregando blocos cerâmicos e blocos de concreto.

3.3.1. Levantamento das Ações Verticais

Inicialmente foram levantados os carregamentos verticais para os dois modelos em questão, ou seja, blocos cerâmicos e blocos de concreto, que em função seus pesos específicos distintos, deram origem aos dados que são apresentados na Tabela 6.

Para o projeto em alvenaria estrutural desenvolvido com blocos cerâmicos, considerou-se:

- Peso da parede, considerando revestimento de 2,5cm de um lado e 1,0cm do outro (argamassa) = 1,8kN/m²;

Para o projeto em alvenaria estrutural desenvolvido com blocos de concreto, considerou-se:

- Peso da parede, considerando revestimento de 2,5cm de um lado e 1,0cm do outro (argamassa) = 1,96kN/m²;

A Tabela 6 apresenta os carregamentos verticais obtidos para os dois modelos de cálculo.

Tabela 6: Cargas verticais consideradas nos cálculos de distribuição (PARSEKIAN *et al*, 2012).

CARGAS VERTICAIS CONSIDERADAS	Blocos Cerâmicos	Blocos de Concreto
Peso Próprio parede (KN/m)	4,90	5,31
Janela (KN/m)	3,10	3,30
Porta (KN/m)	0,94	0,96
Laje (G) (KN/m²)	3,25	3,25
Laje (Q) (KN/m²)	2,00	2,00

Na sequência definiram-se as dimensões e nomenclatura das paredes estruturais, tendo como limite de cada grupo de paredes isoladas as extremidades de aberturas de portas ou janelas, ou na extremidade das próprias paredes. Os grupos de paredes foram nomeados de acordo com suas direções X e Y, da esquerda para a direita e de cima para baixo, devidamente cotadas a partir dos eixos das interseções.

Na Figura 16 pode-se verificar a nomenclatura adotada para cada grupo de paredes e suas características geométricas.

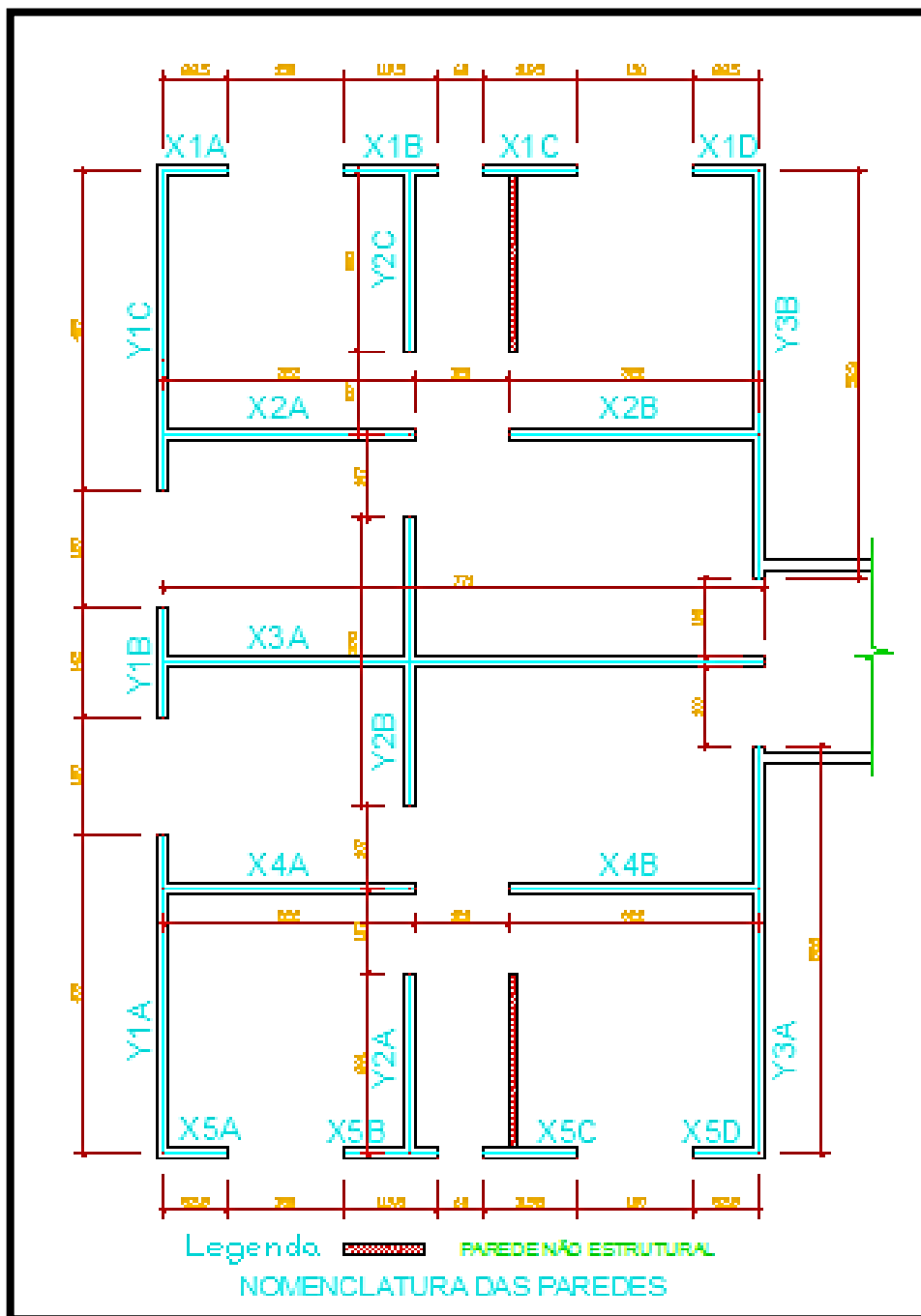


Figura 16: Planta baixa do pavimento tipo com nomenclatura das paredes isoladas
 Fonte: Autoria própria

Posteriormente foram determinados os carregamentos das lajes utilizando o método das áreas de influência, onde ocorre a distribuição do carregamento de cada laje para cada parede se dá de acordo com a área de influência da laje em relação a cada parede de apoio.

As áreas de influência desses carregamentos são apresentadas na Figura 17.

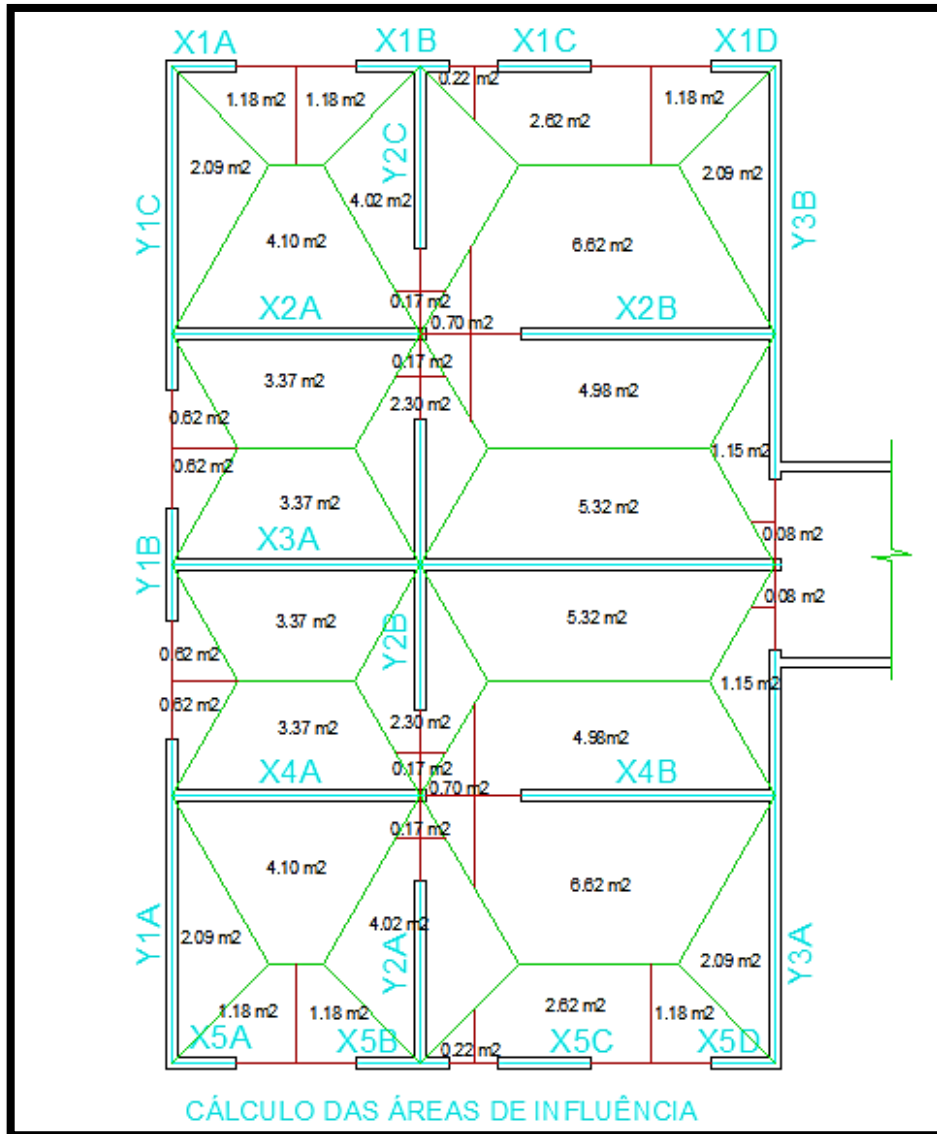


Figura 17: Planta baixa do pavimento tipo com as áreas de influência
 Fonte: Autoria própria

O carregamento total de cada parede foi obtido através da sistematização de dados, considerando para cada parede a reação da laje (permanente e acidental), seu peso próprio e de aberturas laterais e eventuais de outros carregamentos. Os carregamentos verticais considerados nos cálculos a seguir para alvenaria estrutural em blocos cerâmicos e em blocos de concreto estão na Tabela 6.

A Tabela 7 apresenta os valores dos carregamentos verticais dimensionados com blocos cerâmicos cada parede isoladamente.

Tabela 7: Carregamento vertical por parede isolada - Blocos cerâmicos.

CARREGAMENTOS VERTICAIS - BLOCOS CERÂMICOS											
Parede	L (m)	Peso Próprio Parede (KN)	Comprimento Janela (m)	Comprimento Porta (m)	Peso Próprio Janela (KN)	Peso Próprio Porta (KN)	Área Laje (m2)	Peso Próprio Laje (G)(KN)	Carga Acidental Laje (Q)(KN)	Total/Pav. G (KN)	Total/Pav. Q (KN)
X1A	0,825	4,0425	0,75		2,325	0	1,18	3,835	2,36	10,2025	2,36
X1B	1,195	5,8555	1,05		3,255	0	1,40	4,55	2,8	13,6605	2,8
X1C	1,195	5,8555	1,05		3,255	0	2,62	8,515	5,24	17,6255	5,24
X1D	0,825	4,0425	0,75		2,325	0	1,18	3,835	2,36	10,2025	2,36
X2A	3,22	15,778		0,6	0	0,564	8,51	27,6575	17,02	43,9995	17,02
X2B	3,22	15,778		0,6	0	0,564	11,60	37,7	23,2	54,042	23,2
X3A	7,71	37,779			0	0	17,54	57,005	35,08	94,784	35,08
X4A	3,22	15,778		0,6	0	0,564	8,51	27,6575	17,02	43,9995	17,02
X4B	3,22	15,778		0,6	0	0,564	11,60	37,7	23,2	54,042	23,2
X5A	0,825	4,0425	0,75		2,325	0	1,18	3,835	2,36	10,2025	2,36
X5B	1,195	5,8555	1,05		3,255	0	1,40	4,55	2,8	13,6605	2,8
X5C	1,195	5,8555	1,05		3,255	0	2,62	8,515	5,24	17,6255	5,24
X5D	0,825	4,0425	0,75		2,325	0	1,18	3,835	2,36	10,2025	2,36
Y1A	4,09	20,041	0,75		2,325	0	2,71	8,8075	5,42	31,1735	5,42
Y1B	1,42	6,958	1,5		4,65	0	1,24	4,03	2,48	15,638	2,48
Y1C	4,09	20,041	0,75		2,325	0	2,71	8,8075	5,42	31,1735	5,42
Y2A	2,31	11,319		1,07	0	1,0058	4,02	13,065	8,04	25,3898	8,04
Y2B	3,7	18,13		2,14	0	2,0116	4,60	14,95	9,2	35,0916	9,2
Y2C	2,31	11,319		1,07	0	1,0058	4,02	13,065	8,04	25,3898	8,04
Y3A	5,23	25,627		1	0	0,94	3,24	10,53	6,48	37,097	6,48
Y3B	5,23	25,627		1	0	0,94	3,24	10,53	6,48	37,097	6,48
Total Pavimento (KN)										824,8992	

O valor total dos carregamentos verticais do pavimento tipo dimensionado com blocos cerâmicos é de 824,8992 kN.

A Tabela 8 apresenta o resumo dos carregamentos verticais em cada parede isoladamente para blocos de concreto, onde observou-se que os carregamentos verticais são maiores, em função do peso próprio da parede em blocos de concreto ser maior que o da parede em blocos cerâmicos.

Tabela 8: Carregamento vertical por parede isolada - Blocos de concreto.

CARREGAMENTOS VERTICAIS - BLOCOS DE CONCRETO											
Parede	L (m)	Peso Próprio Parede (KN)	Comprimento Janela (m)	Comprimento Porta (m)	Peso Próprio Janela (KN)	Peso Próprio Porta (KN)	Área Laje (m ²)	Peso Próprio Laje (G)(KN)	Carga Acidental Laje (Q)(KN)	Total/Pav. G (KN)	Total/Pav. Q (KN)
X1A	0,825	4,3807	0,75		2,475	0	1,18	3,835	2,36	10,69075	2,36
X1B	1,195	6,3454	1,05		3,465	0	1,40	4,55	2,8	14,36045	2,8
X1C	1,195	6,3454	1,05		3,465	0	2,62	8,515	5,24	18,32545	5,24
X1D	0,825	4,3807	0,75		2,475	0	1,18	3,835	2,36	10,69075	2,36
X2A	3,22	17,098		0,6	0	0,576	8,51	27,6575	17,02	45,3317	17,02
X2B	3,22	17,098		0,6	0	0,576	11,60	37,7	23,2	55,3742	23,2
X3A	7,71	40,940			0	0	17,54	57,005	35,08	97,9451	35,08
X4A	3,22	17,098		0,6	0	0,576	8,51	27,6575	17,02	45,3317	17,02
X4B	3,22	17,098		0,6	0	0,576	11,60	37,7	23,2	55,3742	23,2
X5A	0,825	4,3807	0,75		2,475	0	1,18	3,835	2,36	10,69075	2,36
X5B	1,195	6,3454	1,05		3,465	0	1,40	4,55	2,8	14,36045	2,8
X5C	1,195	3,3454	1,05		3,465	0	2,62	8,515	5,24	18,32545	5,24
X5D	0,825	4,3807	0,75		2,475	0	1,18	3,835	2,36	10,69075	2,36
Y1A	4,09	21,717	0,75		2,475	0	2,71	8,8075	5,42	33,0004	5,42
Y1B	1,42	7,5402	1,5		4,95	0	1,24	4,03	2,48	16,5202	2,48
Y1C	4,09	21,717	0,75		2,475	0	2,71	8,8075	5,42	33,0004	5,42
Y2A	2,31	12,266		1,07	0	1,0272	4,02	13,065	8,04	26,3583	8,04
Y2B	3,7	19,647		2,14	0	2,0544	4,60	14,95	9,2	36,6514	9,2
Y2C	2,31	12,266		1,07	0	1,0272	4,02	13,065	8,04	26,3583	8,04
Y3A	5,23	27,771		1	0	0,96	3,24	10,53	6,48	39,2613	6,48
Y3B	5,23	27,771		1	0	0,96	3,24	10,53	6,48	39,2613	6,48
Total Pavimento (KN)										850,5033	

O valor total dos carregamentos verticais do pavimento tipo dimensionado com blocos de concreto é de 850,5033 kN.

Dentro desse conceito de grupos de paredes isoladas, foram determinadas as resultantes das cargas verticais presente em cada grupo de paredes em cada nível da edificação, onde a carga distribuída em cada parede do grupo é resultado da soma do carregamento de todas as paredes dividida pela soma do comprimento de todas as paredes.

Na sequência calcularam-se os carregamentos por grupo de paredes isoladas em cada pavimento, a partir da equação 16, onde n é o número de pavimentos acima e G_k (peso próprio total) e Q_k (carga acidental total) já calculados anteriormente.

$$(G_k + Q_k)_{grupo} = \frac{n \cdot (G_k + Q_k)_{pav}}{L} \quad (16)$$

Estes resultados são apresentados na Tabela 9 que indica os carregamentos verticais por grupo de paredes em blocos cerâmicos para cada pavimento.

Tabela 9: Carregamentos verticais por grupo de paredes - Blocos cerâmicos.

Grupo	Paredes	L (m)	G Total (kN)	Q Total (kN)	Blocos Cerâmicos - Carga Pavimento (kN/m)															
					8		7		6		5		4		3		2		1	
					G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q
1	X1A, X2A, Y1C	8,135	85,38	24,80	10,49	3,05	20,99	6,10	31,48	9,15	41,98	12,19	52,47	15,24	62,97	18,29	73,46	21,34	83,96	24,39
2	X1B, Y2C	3,505	39,05	10,84	11,14	3,09	22,28	6,19	33,42	9,28	44,57	12,37	55,71	15,46	66,85	18,56	77,99	21,65	89,13	24,74
3	X1C	1,195	17,63	5,24	14,75	4,38	29,50	8,77	44,25	13,15	59,00	17,54	73,75	21,92	88,50	26,31	103,25	30,69	117,99	35,08
4	X1D, X2B, Y3B	9,275	101,34	32,04	10,93	3,45	21,85	6,91	32,78	10,36	43,71	13,82	54,63	17,27	65,56	20,73	76,48	24,18	87,41	27,64
5	X3A, Y1B, Y2B	12,83	145,51	46,76	11,34	3,64	22,68	7,29	34,03	10,93	45,37	14,58	56,71	18,22	68,05	21,87	79,39	25,51	90,73	29,16
6	X4A, X5A, Y1A	8,135	85,38	24,80	10,49	3,05	20,99	6,10	31,48	9,15	41,98	12,19	52,47	15,24	62,97	18,29	73,46	21,34	83,96	24,39
7	X5B, Y2A	3,505	39,05	10,84	11,14	3,09	22,28	6,19	33,42	9,28	44,57	12,37	55,71	15,46	66,85	18,56	77,99	21,65	89,13	24,74
8	X5C	1,195	17,63	5,24	14,75	4,38	29,50	8,77	44,25	13,15	59,00	17,54	73,75	21,92	88,50	26,31	103,25	30,69	117,99	35,08
9	X5D, X4B, Y3A	9,275	101,34	32,04	10,93	3,45	21,85	6,91	32,78	10,36	43,71	13,82	54,63	17,27	65,56	20,73	76,48	24,18	87,41	27,64

A Tabela 10 indica os carregamentos verticais por grupo de paredes obtido para o dimensionamento com blocos de concreto.

Tabela 10: Carregamentos verticais por grupo de paredes - Blocos de concreto.

Grupo	Paredes	L (m)	G Total (kN)	Q Total (kN)	Blocos de Concreto - Carga Pavimento (kN/m)															
					8		7		6		5		4		3		2		1	
					G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q
1	X1A, X2A, Y1C	8,135	89,02	24,80	10,94	3,05	21,89	6,10	32,83	9,15	43,77	12,19	54,72	15,24	65,66	18,29	76,60	21,34	87,55	24,39
2	X1B, Y2C	3,505	40,72	10,84	11,62	3,09	23,23	6,19	34,85	9,28	46,47	12,37	58,09	15,46	69,70	18,56	81,32	21,65	92,94	24,74
3	X1C	1,195	18,33	5,24	15,34	4,38	30,67	8,77	46,01	13,15	61,34	17,54	76,68	21,92	92,01	26,31	107,35	30,69	122,68	35,08
4	X1D, X2B, Y3B	9,275	105,33	32,04	11,36	3,45	22,71	6,91	34,07	10,36	45,42	13,82	56,78	17,27	68,14	20,73	79,49	24,18	90,85	27,64
5	X3A, Y1B, Y2B	12,83	151,12	46,76	11,78	3,64	23,56	7,29	35,34	10,93	47,11	14,58	58,89	18,22	70,76	21,87	82,45	25,51	94,23	29,16
6	X4A, X5A, Y1A	8,135	89,02	24,80	10,94	3,05	21,89	6,10	32,83	9,15	43,77	12,19	54,72	15,24	65,66	18,29	76,60	21,34	87,55	24,39
7	X5B, Y2A	3,505	40,72	10,84	11,62	3,09	23,23	6,19	34,85	9,28	46,47	12,37	58,09	15,46	69,70	18,56	81,32	21,65	92,94	24,74
8	X5C	1,195	18,33	5,24	15,34	4,38	30,67	8,77	46,01	13,15	61,34	17,54	76,68	21,92	92,01	26,31	107,35	30,69	122,68	35,08
9	X5D, X4B, Y3A	9,275	105,33	32,04	11,36	3,45	22,71	6,91	34,07	10,36	45,42	13,82	56,78	17,27	68,14	20,73	79,49	24,18	90,85	27,64

Com base nos resultados das Tabelas 9 e 10, calculou-se o valor da resistência característica de compressão simples do prisma (f_{pk}) necessário para cada grupo de paredes considerando o dimensionamento com blocos cerâmicos e com blocos de concreto.

Para Parsekian e Soares (2010) a utilização de grauteamento vertical como forma de aumentar a resistência a compressão de paredes pode ser uma boa opção em casos em que apenas alguns pontos estão sujeitos a uma tensão maior.

Na ausência de resultados de ensaio, recomenda-se considerar aumento de 30% na resistência a compressão da parede, quando grauteia-se um a cada 2 furos, e de 60%, quando grauteia-se todos os furos (PARSEKIAN *et al*, 2010).

A Tabela 11 apresenta os valores de f_{pk} necessários para o dimensionamento com blocos cerâmicos.

Tabela 11: Compressão por grupo de paredes - Blocos cerâmicos.

COMPRESSÃO POR GRUPO DE PAREDES (F_{pk} necessário) - BLOCOS CERÂMICOS									
Grupo	Paredes	Pavimento							
		8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
1	X1A, X2A, Y1C	0,44	0,87	1,31	1,74	2,18	2,62	3,05	3,49
2	X1B, Y2C	0,46	0,92	1,38	1,83	2,29	2,75	3,21	3,67
3	X1C	0,62	1,23	1,85	2,47	3,08	3,70	4,31	4,93
4	X1D, X2B, Y3B	0,46	0,93	1,39	1,85	2,32	2,78	3,24	3,71
5	X3A, Y1B, Y2B	0,48	0,97	1,45	1,93	2,41	2,90	3,38	3,86
6	X4A, X5A, Y1A	0,44	0,87	1,31	1,74	2,18	2,62	3,05	3,49
7	X5B, Y2A	0,46	0,92	1,38	1,83	2,29	2,75	3,21	3,67
8	X5C	0,62	1,23	1,85	2,47	3,08	3,70	4,31	4,93
9	X5D, X4B, Y3A	0,46	0,93	1,39	1,85	2,32	2,78	3,24	3,71

Partindo dos valores calculados para f_{pk} na Tabela 11, é possível definir a resistência do bloco a ser utilizado em cada pavimento, utilizando a Tabela 12 como referência para determinação da resistência do bloco cerâmico a ser utilizado em cada pavimento.

Tabela 12: Resistência característica de compressão simples do prisma - Blocos cerâmicos.

Resistência característica de compressão simples do prisma - BLOCOS CERÂMICOS				
Resistência do bloco f_{bk} (MPa)	f_{pk} / f_{bk} (MPa)	F_{pk} (MPa)	f_{pk}^* (MPa) (graute em todos os furos)	f_{pk}^* (MPa) (1 graute a cada 2 furos)
4,5	0,5	2,25	3,6	2,925
6	0,5	3	4,8	3,9
8	0,5	4	6,4	5,2
10	0,45	4,5	7,2	5,85
12	0,45	5,4	8,64	7,02

Os valores de f_{pk} (compressão por grupo de paredes) para o dimensionamento com blocos de concreto são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Compressão por grupo de paredes - Blocos de concreto.

COMPRESSÃO POR GRUPO DE PAREDES (F_{pk} necessário) - BLOCOS CERÂMICOS									
Grupo	Paredes	Pavimento							
		8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
1	X1A, X2A, Y1C	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,61
2	X1B, Y2C	0,47	0,95	1,42	1,90	2,37	2,84	3,32	3,79
3	X1C	0,64	1,27	1,91	2,54	3,18	3,81	4,45	5,08
4	X1D, X2B, Y3B	0,48	0,95	1,43	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82
5	X3A, Y1B, Y2B	0,50	0,99	1,49	1,99	2,48	2,98	3,48	3,97
6	X4A, X5A, Y1A	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,61
7	X5B, Y2A	0,47	0,95	1,42	1,90	2,37	2,84	3,32	3,79
8	X5C	0,64	1,27	1,91	2,54	3,18	3,81	4,45	5,08
9	X5D, X4B, Y3A	0,48	0,95	1,43	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82

A definição das resistências dos blocos de concreto a serem utilizados em cada pavimento considera os resultados da Tabela 13 para f_{pk} , bem como utiliza a Tabela 14 como referência para determinação da resistência do bloco de concreto a ser utilizado em cada pavimento.

Tabela 14: Resistência característica de compressão simples do prisma - Blocos de concreto.

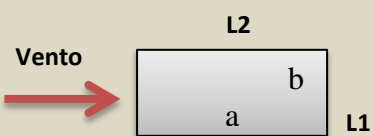
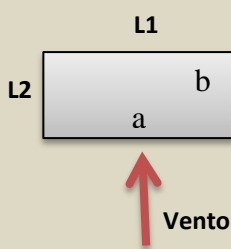
Resistência característica de compressão simples do prisma - BLOCOS DE CONCRETO				
Resistência do bloco f_{bk} (MPa)	f_{pk}/f_{bk} (MPa)	f_{pk} (MPa)	f_{pk}^* (MPa) (graute em todos os furos)	f_{pk}^* (MPa) (1 graute a cada 2 furos)
4,5	0,8	3,6	5,76	4,68
6	0,8	4,8	7,68	6,24
8	0,8	6,4	10,24	8,32
10	0,75	7,5	12	9,75
12	0,75	9	14,4	11,7

3.3.2. Levantamento das Ações Horizontais

O levantamento das ações horizontais se deu através dos procedimentos descritos nos itens 2.5.2.1 (Ação do vento) e 2.2.5.2 (Desaprumo), onde com bases nos dados obtidos foi possível determinar os coeficientes de arrasto para o edifício em análise.

A Tabela 15 indica os dados utilizados e o coeficiente de arrasto para X e Y, sendo considerado para os cálculos estruturais empregando blocos cerâmicos e em concreto, dado que neste levantamento as considerações são as mesmas para os dois casos.

Tabela 15: Dados dimensionais e coeficientes de arrasto.

DADOS DIMENSIONAIS E COEFICIENTES DE ARRASTO			
Vento X		Vento Y	
			
L1	12,74	L1	7,78
L2	7,78	L2	12,74
h	22,4	h	22,4
L1/L2	1,637532	L1/L2	0,610675
h/L1	1,758242	h/L1	2,879177
Ca	1,03	Ca	0,88

Para completar os cálculos das forças atuantes em cada pavimento foi necessário determinar o valor do coeficiente S_2 em cada nível, em função das seguintes definições:

- ✓ Classe A (quanto às dimensões do edifício): Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas de vedação e toda edificação na a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20m;
- ✓ Categoria IV (quanto à rugosidade do terreno): Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial

ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10m;

- ✓ $V_0 = 49\text{m/s}$ (velocidade básica do vento): obtida através de registros históricos em estações distribuídas pelo Brasil;
- ✓ $S1 = 1$ (fator topográfico): terreno plano ou fracamente acidentado;
- ✓ $S3 = 1$ (fator estatístico): Edificações para hotéis e residências, edificações para comércio e indústria com alto poder de ocupação;
- ✓ $b = 0,86$ (parâmetro meteorológico);
- ✓ $p = 0,12$ (expoente da lei potencial de variação de S_2);
- ✓ $Fr = 1$ (fator de rajada);
- ✓ $Ca_x = 1,03$ (coeficiente de arrasto em x);
- ✓ $Ca_y = 0,88$ (coeficiente de arrasto em y);
- ✓ $A = 35,672\text{m}^2$ (área de fachada em x);
- ✓ $A = 21,784\text{m}^2$ (área de fachada em y);
- ✓ $Z =$ altura em cada pavimento;

Os valores S_2 calculados a partir das definições citadas valem para tanto para o dimensionamento da alvenaria estrutural empregando blocos cerâmicos quanto para o dimensionamento empregando blocos de concreto. Esses valores são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Levantamento das ações do vento em X e em Y.

NA DIREÇÃO X						NA DIREÇÃO Y					
Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)	Z(m)	S2	Vk (m/s)	q(KN/m2)	A (m2)	Fa (KN)
2,8	0,738172	36,17042	0,801987	35,672	29,46674	2,8	0,738172	36,17042	0,801987	21,784	15,37403
5,6	0,802197	39,30765	0,947141	35,672	34,80001	5,6	0,802197	39,30765	0,947141	21,784	18,15662
8,4	0,842194	41,26749	1,043942	35,672	38,3567	8,4	0,842194	41,26749	1,043942	21,784	20,01229
11,2	0,871775	42,717	1,118567	35,672	41,09855	11,2	0,871775	42,717	1,118567	21,784	21,44283
14	0,895434	43,87629	1,180104	35,672	43,35957	14	0,895434	43,87629	1,180104	21,784	22,6225
16,8	0,915241	44,84682	1,232888	35,672	45,29898	16,8	0,915241	44,84682	1,232888	21,784	23,63437
19,6	0,932329	45,68412	1,279355	35,672	47,00626	19,6	0,932329	45,68412	1,279355	21,784	24,52513
22,4	0,947389	46,42205	1,321019	35,672	48,53709	22,4	0,947389	46,42205	1,321019	21,784	25,32383

As normas NBR 15812 (ABNT, 2010) parte 1 e a NBR 15961 (ABNT, 2011) parte 1, recomendam que para edifícios de andares múltiplos deve ser considerado

o desaprumo global, através do ângulo de desaprumo, em radianos, esses valores serão obtidos a partir da Equação 17:

$$\theta_a = \frac{1}{100\sqrt{H}} \leq \frac{1}{40H} \quad (17)$$

Onde:

θ_a é o ângulo de desaprumo;

H é a altura total da edificação em metros.

Neste caso os valores do ângulo de desaprumo calculados resultaram em valores idênticos, em função das considerações para dimensionamento do edifício de oito pavimentos serem as mesmas, independente do tipo de bloco empregado ser cerâmico ou de concreto. A Tabela 17 apresenta o valor do desaprumo que será utilizado nos dois casos.

Tabela 17: Desaprumo para blocos cerâmicos e blocos de concreto.

BLOCOS CERÂMICOS	
Desaprumo	
h	22,4
φ	0,002112886
F (KN)	1,743

3.3.3. Distribuição das Ações Horizontais

Na distribuição das ações horizontais utilizou-se o método das paredes isoladas, sendo necessária a determinação do momento de inércia de flexão para cada uma das paredes, relativo ao eixo baricêntrico ortogonal à direção de atuação do vento.

A Figura 18 ilustra a forma de atuação das ações horizontais em X e em Y e em quais paredes.

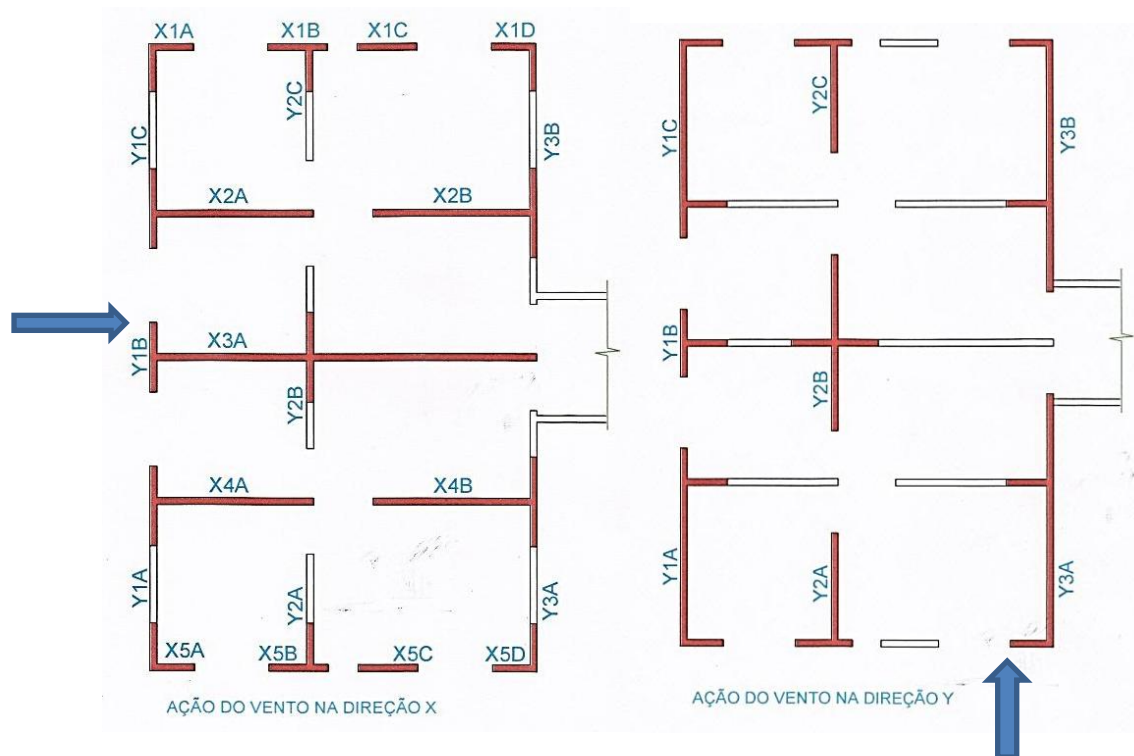


Figura 18: Ação do vento no pavimento tipo nas direções X e Y
 Fonte: Autoria própria

Como a maioria das ações varia em função do tempo, define-se o carregamento atuante em um sistema estrutural como sendo o conjunto de ações que tem probabilidade de atuação simultânea, durante um período de tempo (PARSEKIAN *et al*, 2010).

Na combinação das ações, as ações permanentes devem ser consideradas em sua totalidade e devem figurar em todas as combinações efetuadas. As ações variáveis e móveis são consideradas sempre que causarem efeitos desfavoráveis para segurança.

As verificações dos Estados Limites Últimos (ELU) devem refletir toda e qualquer possibilidade de combinação de ações que possa levar à ruína ou inutilização da estrutura (PARSEKIAN *et al*, 2010).

O momento em cada andar foi calculado a partir da multiplicação de cada F_{total} pela distância entre o andar em que se quis calcular o momento e o andar em que cada força foi aplicada, de modo que cada parede irá resistir a uma parcela de esforço proporcional a sua rigidez (r/R)

Partindo dessas considerações na Tabela 18, são apresentadas as ações totais em X para cada pavimento.

Tabela 18: Ações totais em X em cada pavimento.

Vento X - Esforços com desaprumo									
Andar	F vento	F desaprumo	F total	F acumul.	M (KN.m)				
8	48,53709	1,742918	50,28001	50,28000884	140,7840248				
7	47,00626	1,742918	48,74918	99,02918433	418,0657409				
6	45,29898	1,742918	47,0419	146,0710847	827,064778				
5	43,35957	1,742918	45,10249	191,1735707	1362,350776				
4	41,09855	1,742918	42,84147	234,0150428	2017,592896				
3	38,3567	1,742918	40,09962	274,1146617	2785,113948				
2	34,80001	1,742918	36,54293	310,6575876	3654,955194				
1	29,46674	1,742918	31,20966	341,8672492	4612,183491				
F(kN)/por parede - vento + desaprumo em X									
Parede	r/R	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
X1A	0,0016	0,078	0,154	0,228	0,298	0,364	0,427	0,484	0,532
X1B	0,0021	0,108	0,212	0,313	0,410	0,502	0,588	0,666	0,733
X1C	0,0018	0,091	0,179	0,263	0,345	0,422	0,494	0,560	0,616
X1D	0,0016	0,078	0,154	0,228	0,298	0,364	0,427	0,484	0,532
X2A	0,0697	3,507	6,907	10,188	13,334	16,322	19,119	21,668	23,844
X2B	0,0726	3,652	7,192	10,608	13,884	16,995	19,907	22,561	24,828
X3A	0,7011	35,253	69,433	102,416	134,038	164,076	192,191	217,813	239,695
X4A	0,0697	3,507	6,907	10,188	13,334	16,322	19,119	21,668	23,844
X4B	0,0726	3,652	7,192	10,608	13,884	16,995	19,907	22,561	24,828
X5A	0,0016	0,078	0,154	0,228	0,298	0,364	0,427	0,484	0,532
X5B	0,0021	0,108	0,212	0,313	0,410	0,502	0,588	0,666	0,733
X5C	0,0018	0,091	0,179	0,263	0,345	0,422	0,494	0,560	0,616
X5D	0,0016	0,078	0,154	0,228	0,298	0,364	0,427	0,484	0,532
Totais		50,280	99,029	146,071	191,174	234,015	274,115	310,658	341,867
M (kN.m)/por parede em X									
Parede	r/R	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
X1A	0,0016	0,219	0,651	1,288	2,122	3,142	4,338	5,692	7,183
X1B	0,0021	0,302	0,896	1,773	2,920	4,325	5,970	7,835	9,887
X1C	0,0018	0,254	0,754	1,491	2,456	3,637	5,021	6,589	8,314
X1D	0,0016	0,219	0,651	1,288	2,122	3,142	4,338	5,692	7,183
X2A	0,0697	9,819	29,159	57,686	95,021	140,723	194,256	254,925	321,690
X2B	0,0726	10,224	30,361	60,064	98,939	146,524	202,264	265,435	334,952
X3A	0,7011	98,709	293,121	579,884	955,192	1414,605	1952,741	2562,617	3233,764
X4A	0,0697	9,819	29,159	57,686	95,021	140,723	194,256	254,925	321,690
X4B	0,0726	10,224	30,361	60,064	98,939	146,524	202,264	265,435	334,952
X5A	0,0016	0,219	0,651	1,288	2,122	3,142	4,338	5,692	7,183
X5B	0,0021	0,302	0,896	1,773	2,920	4,325	5,970	7,835	9,887
X5C	0,0018	0,254	0,754	1,491	2,456	3,637	5,021	6,589	8,314
X5D	0,0016	0,219	0,651	1,288	2,122	3,142	4,338	5,692	7,183
Totais		140,784	418,066	827,065	1362,351	2017,593	2785,114	3654,955	4612,183

Observa-se que os valores obtidos para a parede X3A ficaram bastante elevados em relação as demais, dado que esta parede possui a maior inércia, logo com isso absorve valores maiores de momento e forças horizontais.

Na Tabela 19, são apresentadas as ações totais em Y para cada pavimento. O momento em cada andar foi calculado a partir da multiplicação de cada F_{total} pela distância entre o andar em que se quis calcular o momento e o andar em que cada força foi aplicada.

Tabela 19: Ações totais em Y em cada pavimento.

Vento Y - Esforços com desaprumo									
Pav	F vento	F desaprumo	F total	F acumul.	M (KN.m)				
8	25,32383	1,742917672	27,066746	27,066746	75,786889				
7	24,52513	1,742917672	26,268046	53,334792	225,12431				
6	23,63437	1,742917672	25,37729	78,712082	445,51814				
5	22,6225	1,742917672	24,365416	103,0775	734,13513				
4	21,44283	1,742917672	23,185751	126,26325	1087,6722				
3	20,01229	1,742917672	21,755211	148,01846	1502,1239				
2	18,15662	1,742917672	19,899536	167,918	1972,2943				
1	15,37403	1,742917672	17,116949	185,03495	2490,3922				
F(KN)/por parede - vento + desaprumo em Y									
Parede	r/R	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
Y1C	0,1626	4,401	8,671	12,797	16,759	20,528	24,065	27,300	30,083
Y2C	0,0313	0,847	1,670	2,464	3,227	3,953	4,634	5,257	5,793
Y3B	0,2719	7,359	14,502	21,402	28,026	34,331	40,246	45,656	50,310
Y1B	0,0037	0,100	0,196	0,290	0,379	0,465	0,545	0,618	0,681
Y2B	0,0648	1,753	3,454	5,097	6,674	8,176	9,584	10,873	11,981
Y1A	0,1626	4,401	8,671	12,797	16,759	20,528	24,065	27,300	30,083
Y2A	0,0313	0,847	1,670	2,464	3,227	3,953	4,634	5,257	5,793
Y3A	0,2719	7,359	14,502	21,402	28,026	34,331	40,246	45,656	50,310
Totais		27,067	53,335	78,712	103,077	126,263	148,018	167,918	185,035
M (KN.m)/por parede em Y									
Parede	r/R	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
Y1C	0,1626	12,3216	36,6012	72,4332	119,3571	176,8359	244,2183	320,6595	404,8929
Y2C	0,0313	2,3726	7,0477	13,9472	22,9826	34,0503	47,0250	61,7440	77,9633
Y3B	0,2719	20,6062	61,2106	121,1350	199,6091	295,7348	408,4229	536,2609	677,1301
Y1B	0,0037	0,2788	0,8282	1,6390	2,7008	4,0015	5,5262	7,2559	9,1619
Y2B	0,0648	4,9073	14,5772	28,8481	47,5366	70,4288	97,2653	127,7098	161,2576
Y1A	0,1626	12,3216	36,6012	72,4332	119,3571	176,8359	244,2183	320,6595	404,8929
Y2A	0,0313	2,3726	7,0477	13,9472	22,9826	34,0503	47,0250	61,7440	77,9633
Y3A	0,2719	20,6062	61,2106	121,1350	199,6091	295,7348	408,4229	536,2609	677,1301
Totais		75,7869	225,1243	445,5181	734,1351	1087,6722	1502,1239	1972,2943	2490,3922

Através da Tabela 19 é possível identificar os valores dos esforços e momentos em cada parede na direção perpendicular a y.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item serão apresentados os resultados obtidos para os dois modelos de dimensionamento estrutural de um edifício com oito pavimentos em alvenaria estrutural, sendo o primeiro utilizando blocos cerâmicos e o segundo blocos de concreto.

4.1. DIMENSIONAMENTO À COMPRESSÃO SIMPLES

No dimensionamento a compressão simples, a diferença entre os resultados obtidos com blocos cerâmicos e com blocos de concreto ficaram mais evidentes.

4.1.1. Blocos Cerâmicos

Para definição das resistências dos blocos cerâmicos a serem utilizados em cada pavimento (Tabela 20), considerou-se os resultados obtidos nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11: Compressão por grupo de paredes para blocos cerâmicos.

COMPRESSÃO POR GRUPO DE PAREDES (f_{pk} necessário) - BLOCOS CERÂMICOS									
Grupo	Paredes	Pavimento							
		8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
1	X1A, X2A, Y1C	0,44	0,87	1,31	1,74	2,18	2,62	3,05	3,49
2	X1B, Y2C	0,46	0,92	1,38	1,83	2,29	2,75	3,21	3,67
3	X1C	0,62	1,23	1,85	2,47	3,08	3,70	4,31	4,93
4	X1D, X2B, Y3B	0,46	0,93	1,39	1,85	2,32	2,78	3,24	3,71
5	X3A, Y1B, Y2B	0,48	0,97	1,45	1,93	2,41	2,90	3,38	3,86
6	X4A, X5A, Y1A	0,44	0,87	1,31	1,74	2,18	2,62	3,05	3,49
7	X5B, Y2A	0,46	0,92	1,38	1,83	2,29	2,75	3,21	3,67
8	X5C	0,62	1,23	1,85	2,47	3,08	3,70	4,31	4,93
9	X5D, X4B, Y3A	0,46	0,93	1,39	1,85	2,32	2,78	3,24	3,71

Tabela 12: Resistência característica de compressão simples do prisma para blocos cerâmicos.

Resistência característica de compressão simples do prisma - BLOCOS CERÂMICOS				
Resistência do bloco f_{bk} (MPa)	f_{pk}/f_{bk} (MPa)	f_{pk} (MPa)	$f_{pk}^* = f_{pk} \cdot 1,6$ (MPa) (graute em todos os furos)	$f_{pk}^* = f_{pk} \cdot 1,3$ (MPa) (1 graute a cada 2 furos)
4,5	0,5	2,25	3,6	2,925
6	0,5	3	4,8	3,9
8	0,5	4	6,4	5,2
10	0,45	4,5	7,2	5,85
12	0,45	5,4	8,64	7,02

Tabela 20: Resistência dos blocos cerâmicos por pavimento.

Paredes	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
Resistência dos Blocos (MPa)	4,5	4,5	4,5	4,5	6	6	6	8

No 8º, 7º e 6º pavimento serão utilizados os blocos de resistência de 4,5 MPa, dado que os resultados de f_{pk} por grupo de paredes (Tabela 11) não ultrapassam o valor f_{pk} de 2,25 MPa (Tabela 12).

No 5º pavimento, os valores de f_{pk} para os grupos de paredes 3 e 8 (Tabela 11) ultrapassam o valor de f_{pk} de 2,25 MPa, neste pavimento optou-se em utilizar os blocos cerâmicos com resistência de 4,5 MPa, porém os grupos de paredes 3 e 8 deverão receber um reforço de um graute a cada dois furos.

Para os pavimentos 4 e 3 serão utilizados os blocos cerâmicos com resistência de 6 MPa, considerando um reforço de um graute a cada dois furos para os grupos de paredes 3 e 8.

No 2º pavimento também serão utilizados blocos cerâmicos com resistência de 6 MPa, porém neste caso os grupos de paredes 3 e 8 deverão receber um reforço de graute em todos os furos.

O 1º pavimento será executado com blocos cerâmicos com resistência de 8 MPa, que receberá um reforço de um graute a cada dois furos nos grupos de paredes 3 e 8.

4.1.2. Blocos de Concreto

Para definição das resistências dos blocos de concreto a serem utilizados em cada pavimento (Tabela 21), foram considerados os resultados obtidos nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13: Compressão por grupo de paredes para blocos de concreto.

COMPRESSÃO POR GRUPO DE PAREDES (F_{pk} necessário) - BLOCOS CERÂMICOS									
Grupo	Paredes	Pavimento							
		8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
1	X1A, X2A, Y1C	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,61
2	X1B, Y2C	0,47	0,95	1,42	1,90	2,37	2,84	3,32	3,79
3	X1C	0,64	1,27	1,91	2,54	3,18	3,81	4,45	5,08
4	X1D, X2B, Y3B	0,48	0,95	1,43	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82
5	X3A, Y1B, Y2B	0,50	0,99	1,49	1,99	2,48	2,98	3,48	3,97
6	X4A, X5A, Y1A	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25	2,70	3,15	3,61
7	X5B, Y2A	0,47	0,95	1,42	1,90	2,37	2,84	3,32	3,79
8	X5C	0,64	1,27	1,91	2,54	3,18	3,81	4,45	5,08
9	X5D, X4B, Y3A	0,48	0,95	1,43	1,91	2,39	2,86	3,34	3,82

Tabela 14: Resistência característica de compressão simples do prisma para blocos de concreto.

Resistência característica de compressão simples do prisma - BLOCOS DE CONCRETO				
Resistência do bloco f_{bk} (MPa)	f_{pk} / f_{bk} (MPa)	f_{pk} (MPa)	$f_{pk}^* = f_{pk} \cdot 1,6$ (MPa) (graute em todos os furos)	$f_{pk}^* = f_{pk} \cdot 1,3$ (MPa) (1 graute a cada 2 furos)
4,5	0,8	3,6	5,76	4,68
6	0,8	4,8	7,68	6,24
8	0,8	6,4	10,24	8,32
10	0,75	7,5	12	9,75
12	0,75	9	14,4	11,7

Os blocos de concreto a serem utilizados neste modelo são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21: Resistência dos blocos de concreto por pavimento.

Paredes	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
Resistência do Bloco	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6

No 8º, 7º, 6º, 5º e 4º pavimento serão utilizados os blocos de concreto com resistência de 4,5 MPa, dado que nenhum grupo de paredes ultrapassa a resistência de 3,6 MPa.

O pavimentos 3 e 2 também serão executados com os blocos de concreto de 4,5 MPa, porém os grupos de paredes 3 e 8 deverão receber um reforço de graute a cada dois furos.

Para o 1º pavimento será necessário a utilização de blocos de concreto com resistência de 6 MPa com reforço de um graute a cada dois furos no grupos de paredes 3 e 8.

4.2. DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO

A NBR 15812 (ABNT, 2010) recomenda que as resistências características ao cisalhamento não devam ser maiores que os valores apresentados na Tabela 5 em função da faixa de resistência da argamassa.

Tabela 5: Resistência média de compressão da argamassa - NBR 15812 (2010).

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

4.2.1. Blocos Cerâmicos

Os cálculos para o dimensionamento ao cisalhamento com blocos cerâmicos deram origem aos valores apresentados na Tabela 22.

Tabela 22: Dimensionamento ao cisalhamento – Blocos cerâmicos.

DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO - BLOCOS CERÂMICOS						
Parede	$0,9 \sigma G$ (kN/m ²)	Resistência característica ao cisalhamento $f_{vk} = 100 + 0,5\sigma$ (kN/m ²)	Resistência de cálculo ao cisalhamento da alvenaria $f_{vd} = f_{vk}/2$ (kN/m ²)	Tensão de cisalhamento $\tau = F/A$ (kN/m ²)	$\tau d = \tau \cdot 1,4$ (kN/m ²)	Resistência ao cisalhamento em juntas horizontais $\tau d/f_{vd}$ (MPa)
X1A	539,734480	419,86724	209,93362	4,249385	5,9491387	0,028338189
X1B	572,981781	436,49089	218,245445	4,380462	6,1326464	0,028099768
X1C	758,539151	529,26958	264,634788	3,683623	5,1570721	0,019487506
X1D	561,924374	430,96219	215,481094	4,249385	5,9491387	0,027608634
X2A	539,734480	419,86724	209,93362	51,76833	72,475655	0,345231293
X2B	561,924374	430,96219	215,481094	53,90264	75,463697	0,350210295
X3A	583,285781	441,64289	220,821445	220,0653	308,09142	1,395206044
X4A	539,734480	419,86724	209,93362	51,76833	72,475655	0,345231293
X4B	561,924374	430,96219	215,481094	53,90264	75,463697	0,350210295
X5A	539,734480	419,86724	209,93362	4,249385	5,9491387	0,028338189
X5B	572,981781	436,49089	218,245445	4,380462	6,1326464	0,028099768
X5C	758,539151	529,26958	264,634788	3,683623	5,1570721	0,019487506
X5D	561,924374	430,96219	215,481094	4,249385	5,9491387	0,027608634
Y1C	539,734480	419,86724	209,93362	51,6541	72,315739	0,344469546
Y2C	572,981781	436,49089	218,245445	17,38487	24,338821	0,111520409
Y3B	561,924374	430,96219	215,481094	67,80383	94,925362	0,440527567
Y1B	583,285781	441,64289	220,821445	3,424187	4,7938611	0,021709219
Y2B	583,285781	441,64289	220,821445	23,13004	32,382053	0,146643606
Y1A	539,734480	419,86724	209,93362	51,6541	72,315739	0,344469546
Y2A	572,981781	436,49089	218,245445	17,38487	24,338821	0,111520409
Y3A	561,924374	430,96219	215,481094	67,80383	94,925362	0,440527567

Onde é possível observar que na parede X3A o valor da resistência ao cisalhamento nesta junta foi de 1,395206044 MPa, ou seja, ficando acima do limite da faixa de resistência utilizada ($0,10 + 0,5 \sigma \leq 1,0$).

Neste caso para resolver o problema da parede X3A será necessário um reforço na resistência da argamassa, devendo atingir 7 MPa.

4.2.2. Blocos de Concreto

Os cálculos para o dimensionamento ao cisalhamento com blocos de concreto deram origem aos valores apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Dimensionamento ao cisalhamento – Blocos de concreto.

DIMENSIONAMENTO AO CISALHAMENTO - BLOCOS DE CONCRETO						
Parede	$0,9 \sigma G$ (kN/m ²)	resistência característica ao cisalhamento $f_{vk} = 100 + 0,5\sigma$ (kN/m ²)	resistência de cálculo ao cisalhamento da alvenaria $f_{vd} = f_{vk}/2$ (kN/m ²)	tensão de cisalhamento $\tau = F/A$ (kN/m ²)	$\tau d = \tau \cdot 1,4$ (kN/m ²)	Resistência ao cisalhamento em juntas horizontais $\tau d/f_{vd}$ (MPa)
X1A	562,792624	431,3963	215,69816	4,24938	5,949139	0,027580851
X1B	597,462808	448,7314	224,3657	4,38046	6,132646	0,027333262
X1C	788,662522	544,3313	272,16563	3,68362	5,157072	0,018948286
X1D	584,019253	442,0096	221,00481	4,24938	5,949139	0,026918593
X2A	562,792624	431,3963	215,69816	51,7683	72,47566	0,336004982
X2B	584,019253	442,0096	221,00481	53,9026	75,4637	0,341457252
X3A	605,745596	452,8728	226,4364	220,065	308,0914	1,360609055
X4A	562,792624	431,3963	215,69816	51,7683	72,47566	0,336004982
X4B	584,019253	442,0096	221,00481	53,9026	75,4637	0,341457257
X5A	562,792624	431,3963	215,69816	4,24938	5,949139	0,027580851
X5B	597,462808	448,7314	224,3657	4,38046	6,132646	0,027333262
X5C	788,662522	544,3313	272,16563	3,68362	5,157072	0,018948286
X5D	584,019253	442,0096	221,00481	4,24938	5,949139	0,026918593
Y1C	562,792624	431,3963	215,69816	51,6541	72,31574	0,335263593
Y2C	597,462808	448,7314	224,3657	17,3849	24,33882	0,108478351
Y3B	584,019253	442,0096	221,00481	67,8038	94,92536	0,42951717
Y1B	605,745596	452,8728	226,4364	3,42419	4,793861	0,021170894
Y2B	605,745596	452,8728	226,4364	23,13	32,38205	0,143007278
Y1A	562,792624	431,3963	215,69816	51,6541	72,31574	0,335263593
Y2A	597,462808	448,7314	224,3657	17,3849	24,33882	0,108478351
Y3A	584,019253	442,0096	221,00481	67,8038	94,92536	0,4295117

No dimensionamento ao cisalhamento com blocos de concreto o valor da resistência ao cisalhamento nas juntas da parede X3A foi de 1,36060955 MPa, ficando acima do limite da faixa de resistência utilizada ($0,10 + 0,5 \sigma \leq 1,0$).

Da mesma forma como ocorreu para o dimensionamento com blocos cerâmicos, neste caso para resolver o problema da parede X3A também será necessário um reforço na resistência da argamassa, devendo atingir 7 MPa.

4.3. DIMENSIONAMENTO A FLEXOCOMPRESSÃO

Para o dimensionamento à flexocompressão foi utilizado um procedimento simplificado para alvenaria não armada ou com baixa taxa de armadura, onde são admitidos dois casos, região comprimida com tensões lineares e seção não

plastificada. Neste caso foram verificadas as máximas tensões de tração e compressão nos bordos de paredes.

Na verificação da máxima tração nos bordos das paredes, foi utilizada a Equação 18:

$$\gamma_{fq} \cdot Q + \gamma_{fg} \cdot G \leq \frac{f_{tk}}{\gamma_m} \quad (18)$$

Considerando:

- Que para edifícios, usualmente a ação permanente G e a acidental Q são favoráveis, portanto, $\gamma_{fg} = 0,9$ e $\gamma_{fq,acidental} = 0,0$;
- A ação do vento foi tomada como favorável, com $\gamma_{fq,vento} = 1,4$;
- Neste caso se a Equação 18 não for verificada, haverá a necessidade de armadura;

Para a verificação da máxima compressão nos bordos das paredes, foram considerados dois fatores:

- 1) Que a resistência à compressão na flexão é maior que a resistência na compressão simples, onde deve-se comparar os esforços de flexão com resistência à flexão ($1,5 f_k/\gamma_m$) e comparar os esforços de compressão com a resistência à compressão simples ($R \cdot f_k/\gamma_m$), admitindo-se combinação linear entre esforços/resistências;
- 2) Que duas ações variáveis não têm probabilidade de ocorrer com seus valores máximos ao mesmo tempo, onde deve-se verificar o esforço devido a carga acidental ($Q_{acidental}$) somado ao devido vento (Q_{vento}), porém nessa combinação ora diminui o $Q_{acidental}$ multiplicando-o por ψ_0 , ora diminui-se Q_{vento} multiplicando-o por ψ_0 .

Com isso as verificações da máxima compressão nos bordos de paredes, foram calculadas a partir da Equação 19 e 20:

$$\frac{\gamma_{fq} \cdot \psi_0 \cdot Q_{acidental} + \gamma_{fg} \cdot G}{R} + \frac{\gamma_{fq} \cdot Q_{vento}}{1,5} \leq \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (19)$$

$$\frac{\gamma_{fq} \cdot Q_{acidental} + \gamma_{fg} \cdot G}{R} + \frac{\gamma_{fq} \cdot \psi_0 \cdot Q_{vento}}{1,5} \leq \frac{f_k}{\gamma_m} \quad (20)$$

Considerando para este edifício todas as ações desfavoráveis, tem-se:

$$f_k = 0,7 f_{pk};$$

$$\psi_0 = 0,5 \text{ (acidental) e } \psi_0 = 0,6 \text{ (vento);}$$

$$\gamma_{fq} = \gamma_{fg} = 1,4;$$

$$\gamma_{fq} = 2,0$$

Substituindo, então:

$$\frac{0,7 \cdot Q_{acidental} + 1,4 \cdot G}{R} + \frac{1,4 \cdot Q_{vento}}{1,5} \leq \frac{0,7 f_{pk}}{2,0}$$

$$\frac{1,4 \cdot Q_{acidental} + 1,4 \cdot G}{R} + \frac{0,84 \cdot Q_{vento}}{1,5} \leq \frac{0,7 f_{pk}}{2,0}$$

Simplificando:

$$\frac{0,7 \cdot Q_{acidental} + 1,4 \cdot G}{0,35R} + 2,66 Q_{vento} \leq 0,7 f_{pk} \quad (21)$$

$$\frac{1,4 \cdot Q_{acidental} + 1,4 \cdot G}{0,35R} + 1,60 Q_{vento} \leq 0,7 f_{pk} \quad (22)$$

Desta forma foram realizadas as verificações de máxima compressão e máxima tração para os dois modelos de dimensionamento propostos, o primeiro utilizando blocos cerâmicos e o segundo blocos de concreto.

4.3.1. Blocos Cerâmicos

Os resultados para verificação da máxima compressão nos bordos das paredes e da máxima tração nos bordos das paredes, utilizando blocos cerâmicos são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24: Dimensionamento a flexocompressão – Blocos cerâmicos

DIMENSIONAMENTO A FLEXOCOMPRESSÃO - BLOCOS CERÂMICOS								
Verificação da máxima compressão nos bordos das paredes					Verificação da máxima tração nos bordos das paredes			
Parede	i-esq	ii-esq	i-dir	ii-dir	Parede	σ vesq(KN/m ²)	σ vdir(KN/m ²)	
X1A	0,93	0,99	1,18	0,90	X1A	-384,9594563	-171,2456256	
X1B	1,05	1,01	1,25	0,95	X1B	-168,7472796	-278,5566895	
X1C	1,35	1,35	1,67	1,27	X1C	-409,2093547	-409,2093547	
X1D	1,04	0,98	1,24	0,96	X1D	-193,4355193	-407,1493499	
X2A	1,08	1,24	1,18	0,90	X2A	136,3107585	707,7266078	
X2B	1,30	1,13	1,24	0,96	X2B	711,0918696	88,56570932	
X3A	1,53	1,72	1,29	1,00	X3A	1363,565716	2018,458232	
X4A	1,08	1,24	1,18	0,90	X4A	136,3107585	707,7266078	
X4B	1,30	1,13	1,24	0,96	X4B	711,0918696	88,56570932	
X5A	0,93	0,99	1,18	0,90	X5A	-384,9594563	-171,2456256	
X5B	1,05	1,01	1,25	0,95	X5B	-168,7472796	-278,5566895	
X5C	1,35	1,35	1,67	1,27	X5C	-409,2093547	-409,2093547	
X5D	1,04	0,98	1,24	0,96	X5D	-193,4355193	-407,1493499	
Y1C	1,10	1,12	1,18	0,90	Y1C	229,5535628	279,1850494	
Y2C	1,02	1,10	1,25	0,95	Y2C	-250,3771178	13,05154226	
Y3B	1,21	1,25	1,24	0,96	Y3B	379,1649691	520,4238158	
Y1B	1,06	1,06	1,29	1,00	Y1B	-312,2215077	-312,2215077	
Y2B	1,18	1,18	1,29	1,00	Y2B	123,0084523	123,0084523	
Y1A	1,12	1,10	1,18	0,90	Y1A	278,700188	230,0384242	
Y2A	1,10	1,02	1,25	0,95	Y2A	13,05154226	-250,3771178	
Y3A	1,25	1,21	1,24	0,96	Y3A	520,4390871	379,1496979	
	Acima de 1,0 necessitam de reforço com graute					Acima de 100,0 necessitam de reforço com armadura		

Observou-se que muitas paredes não passaram nas verificações para dimensionamento a flexocompressão, de modo que serão necessários reforços com graute para máxima compressão dos bordos das paredes e reforços com armadura para máxima tração nos bordos de paredes nos itens hachurados em amarelo.

4.3.2. Blocos de Concreto

Os resultados para verificação da máxima compressão nos bordos das paredes e da máxima tração nos bordos das paredes, utilizando blocos de concreto são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25: Dimensionamento a flexocompressão – Blocos de concreto

DIMENSIONAMENTO A FLEXOCOMPRESSÃO - BLOCOS DE CONCRETO							
Verificação da máxima compressão nos bordos das paredes					Verificação da máxima tração nos bordos das paredes		
Parede	i-esq	ii-esq	i-dir	ii-dir	Parede	σ vesq(KN/m ²)	
						σ vdir(KN/m ²)	
X1A	0,60	0,64	0,77	0,58	X1A	-408,0176001	
X1B	0,67	0,65	0,81	0,61	X1B	-193,2283067	
X1C	0,87	0,87	1,08	0,82	X1C	-439,3327259	
X1D	0,67	0,63	0,80	0,62	X1D	-215,530398	
X2A	0,69	0,79	0,77	0,58	X2A	113,2526146	
X2B	0,83	0,72	0,80	0,62	X2B	688,9969909	
X3A	0,98	1,09	0,84	0,64	X3A	1341,105901	
X4A	0,69	0,79	0,77	0,58	X4A	113,2526146	
X4B	0,83	0,72	0,80	0,62	X4B	688,9969909	
X5A	0,60	0,64	0,77	0,58	X5A	-408,0176001	
X5B	0,67	0,65	0,81	0,61	X5B	-193,2283067	
X5C	0,87	0,87	1,08	0,82	X5C	-439,3327259	
X5D	0,67	0,63	0,80	0,62	X5D	-215,530398	
Y1C	0,71	0,72	0,77	0,58	Y1C	206,4954189	
Y2C	0,66	0,71	0,81	0,61	Y2C	-274,8581449	
Y3B	0,77	0,80	0,80	0,62	Y3B	357,0700904	
Y1B	0,68	0,68	0,84	0,64	Y1B	-334,6813229	
Y2B	0,76	0,76	0,84	0,64	Y2B	100,5486371	
Y1A	0,72	0,71	0,77	0,58	Y1A	255,6420442	
Y2A	0,71	0,66	0,81	0,61	Y2A	-11,4298484	
Y3A	0,80	0,77	0,80	0,62	Y3A	498,3442083	
	Acima de 1,0 necessitam de reforço com graute					Acima de 100 ,0 necessitam de reforço com armadura	

Observou-se que no dimensionamento a flexocompressão com blocos de concreto, somente duas paredes deverão receber um reforço com graute na verificação da máxima compressão nos bordos das paredes, enquanto que na verificação da máxima tração dos bordos de parede é que serão necessários reforços com armadura nos itens hachurados em amarelo que ultrapassaram o limite de 100,00 kN/m².

4.4. SÍNTESE DOS RESULTADOS

De um modo geral os cálculos de dimensionamento estrutural para projetos em alvenaria estrutural utilizando blocos cerâmicos e blocos de concreto, seguem um mesmo procedimento de cálculo.

Porém mesmo considerando as mesmas dimensões do bloco para ambos, os resultados apresentados são diferentes, isso ocorre inicialmente em função dos pesos específicos dos blocos cerâmicos e de concreto serem diferentes, bem como suas resistências características de compressão do prisma.

4.4.1. Dimensionamento a Compressão Simples

Os cálculos do dimensionamento a compressão simples auxiliaram na definição das resistências dos blocos a serem utilizados em cada pavimento, estas definições são apresentadas nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20: Resistência dos blocos cerâmicos por pavimento

Paredes – Blocos Cerâmicos	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
Resistência dos Blocos (MPa)	4,5	4,5	4,5	4,5	6	6	6	8

Tabela 21: Resistência dos blocos de concreto por pavimento

Paredes – Blocos de Concreto	8º	7º	6º	5º	4º	3º	2º	1º
Resistência dos Blocos (MPa)	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	6

1) Quanto à resistência dos blocos por grupo de paredes:

- No projeto dimensionado com blocos cerâmicos serão utilizados blocos com 3 resistências diferentes, 4,5MPa, 6,0MPa e 8,0MPa;
- No projeto dimensionado com blocos de concreto serão utilizados apenas 2 resistências para os blocos 4,5MPa e 6,0MPa.

2) Quanto a necessidade de reforço com graute por grupos de paredes:

- No projeto dimensionado com blocos cerâmicos os grupos de paredes 3 e 8 deverão receber reforço de um graute a cada dois furos nos pavimentos 5, 4, 3 e 1, e reforço de graute em todos os furos no pavimento 2;
- No projeto dimensionado com blocos de concreto os grupos de paredes 3 e 8 deverão receber reforço com graute a cada dois furos nos apenas nos pavimentos 3, 2 e 1.

4.4.2. Dimensionamento ao Cisalhamento

No dimensionamento ao cisalhamento com blocos cerâmicos e com blocos de concreto o valor da resistência ao cisalhamento nas juntas da parede X3A foi acima do limite da faixa de resistência utilizada ($0,10 + 0,5 \sigma \leq 1,0$), sendo respectivamente 1,395MPa e 1,360MPa.

Neste caso a solução adotada foi elevar a resistência da argamassa utilizada na parede X3A para 7MPa em ambos os casos.

4.4.3. Dimensionamento à Flexocompressão

Os cálculos de verificações da máxima tração e da máxima compressão utilizados no dimensionamento à flexocompressão, auxiliaram na visualização da necessidade em reforçar algumas paredes com graute ou com armadura, da seguinte forma:

1) Quanto a necessidade de reforçar as paredes com graute:

- No dimensionamento com blocos cerâmicos praticamente todas as paredes indicaram a necessidade de receberem reforço com graute;

- No dimensionamento com blocos de concreto, apenas as paredes X1C e X5C indicaram a necessidade de receber reforço com graute.

2) Quanto a necessidade de reforçar as paredes com armadura:

- No dimensionamento com blocos cerâmicos das 21 paredes existentes 10 indicaram a necessidade de receberem reforço com armadura;
- No dimensionamento com blocos de concreto as mesmas 10 paredes apontadas anteriormente indicaram a necessidade de receberem reforço com armadura.

Com base nos resultados apresentados para o dimensionamento com blocos cerâmicos e com blocos de concreto, pode-se dizer que a execução e o controle da obra serão mais simples, utilizando os blocos de concreto. Dado ao fato de terem sido apontados apenas 2 resistências diferentes para os blocos, menor necessidade de reforços com graute por grupos de parede no dimensionamento ao cisalhamento e por paredes no dimensionamento a flexocompressão.

Contudo a definição do material mais adequado a obra que se pretende executar, deverá considerar outras variáveis, como: disponibilidade do material no mercado, preço, aceitação do cliente entre outras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quanto ao objetivo principal proposto que era o de avaliar de forma comparativa o dimensionamento de um edifício comercial com 8 pavimentos em alvenaria estrutural empregando cerâmicos e blocos de concreto, este estudo contribuiu para identificar que os procedimentos de cálculos são os mesmos, de modo que as diferenças nos resultados em geral só aparecem quando utilizados variáveis e coeficientes específicos para cada tipo de bloco, da forma como apresentaram os resultados dos dimensionamentos ao cisalhamento e a flexocompressão.

Quanto aos objetivos específicos, foram apresentados os critérios de cálculo para alvenaria estrutural com blocos cerâmicos de acordo com a NBR 15812-1:2010 e os critérios de cálculo para alvenaria estrutural com blocos de concreto de acordo com a NBR 15961-1:2011.

Com base nos resultados do dimensionamento a flexocompressão foi possível identificar tanto a necessidade de graute como a necessidade de armadura para reforços em paredes que não passaram nas verificações de máxima compressão e máxima tração nos bordos de paredes com blocos cerâmicos e de concreto.

As resistências dos blocos necessárias para o projeto foram identificadas no dimensionamento a compressão simples tanto para blocos cerâmicos como para blocos de concreto.

Sugere-se para trabalhos futuros:

- ✓ A realização dos procedimentos dos cálculos utilizados neste trabalho para edificações com 10 e 12 pavimentos para verificar um possível aumento da definição de resistência dos blocos bem como se isso alteraria a faixa de resistência da argamassa.
- ✓ Apresentação do cálculo das quantidades de graute e armadura identificadas neste estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Disponível em: <http://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>. Acesso em 25 de novembro de 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812(2010) parte 1 – Alvenaria Estrutural – Blocos Cerâmicos - Projetos**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961(2011) parte 1 – Alvenaria Estrutural – Blocos de Concreto - Projetos**. Rio de Janeiro, 2011.

ARMHEIN, J. E. **Reinforced masonry engineering handbook**. 5th Ed., Los Angeles, USA, Masonry Institute of America.

BARROS, S.B. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. São Paulo, 1996. 422p. - Escola Politécnica Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 1996.

CALÇADA, L. M. L. **Avaliação do comportamento de prismas grauteados e não grauteados de blocos de concreto**. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 1998.

CAMACHO, J. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural, Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, SP, Ilha Solteira, 2006.

COSTA, O. **Análise da influência dos componentes na eficiência da alvenaria estrutural cerâmica**. Santa Maria, 2010. Monografia (Curso de Engenharia Civil) apresentada à Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria 2010.

LANNA, C. A. F. **Painel de normas, Conheça a nova norma de alvenaria estrutural**. Revista Construção Mercado. Edição 106 maio/2010. Disponível em: <http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/106/blocos-estruturais-nova-norma-regulamenta-construcao-com-blocos-ceramicos-170688-1.asp>. Acesso em 18 de novembro de 2012.

MEDEIROS, J. S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. São Paulo, 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo 1993.

O'CONNOR, J. T.; TUCKER, R.L. **Industrial project constructability improvement**. Journal of Construction Engineering and Management, v.112, n.1, p.69-82. Mar. 1986.

PARSEKIAN G. A.; HAMID A. A.; DRYSDALE R. G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. São Carlos, Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2012, 625p.

PARSEKIAN G. A.; SOARES M. M. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos – projeto, execução e controle.** São Paulo, Editora O Nome da Rosa, 2010, 238p.

PARSEKIAN G. A. **Painel de normas, Alvenaria estrutural garantida.** Revista Construção Mercado. Edição 122 setembro/2011. Disponível em: <http://revista.construcaomercado.com.br/guia/habitacao-financiamento-imobiliario/122/alvenaria-estrutural-garantida-finalidade-da-nova-norma-e-aumentar-228041-1.asp>. Acesso em 18 de novembro de 2012.

RAMALHO, M.; CORRÊA M. R. S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo, Editora Pini, 2003, 171p.

SABBATINI, F. H. **Processo construtivos de edifícios de alvenaria sílico-calcária.** São Paulo, 1984. Dissertação (Mestrado) apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo 1984.

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.** 10^o Word Congress on Computational Mechanics. São Paulo 2012.