

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Thiago Pedreschi Busi

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EDIFÍCIOS EM ALVENARIA
ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS: GEOMETRIA EM
PLANTA BAIXA MAIS RECOMENDADA**

Porto Alegre
julho 2009

THIAGO PEDRESCHI BUSI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EDIFÍCIOS EM ALVENARIA
ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS: GEOMETRIA EM
PLANTA BAIXA MAIS RECOMENDADA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de
Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil

Orientador: Jean Marie Désir
Co-orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Porto Alegre
julho 2009

THIAGO PEDRESCHI BUSI

**ANÁLISE COMPARATIVA DE EDIFÍCIOS EM ALVENARIA
ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS: GEOMETRIA EM
PLANTA BAIXA MAIS RECOMENDADA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2009

Prof. Jean Marie Désir
Dr. (Eng. Civil) pela UFRGS
Orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Ph.D. (Eng Civil) pela University. of Leeds
Co-orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luciani Somensi Lorenzi (UNIVALI)
MSc (Eng. Produção) pela Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Cristiano Richter (UNISINOS)
MSc (Eng. Civil) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Jean Marie Désir (UFRGS)
Dr. (Eng. Civil) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Luis Carlos Pinto da Silva Filho (UFRGS)
Ph.D. (Eng Civil) pela University. of Leeds

Dedico este trabalho a minha irmã, Andrea, a minha namorada, Luciana, e a minha mãe, Elizabeth, que sempre estiveram e sempre estarão ao meu lado em todas as horas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Jean Marie, orientador deste trabalho pela ajuda e esclarecimentos durante execução do mesmo.

Agradeço ao Prof. Luiz Carlos, co-orientador deste trabalho pela ajuda e apoio que me foi dado durante todo o período de elaboração do mesmo.

Agradeço à Profa. Carin que sempre esteve disposta a responder toda e qualquer dúvida que surgisse por todo o caminho de elaboração deste trabalho.

Agradeço ao Engenheiro Tavares, da empresa Projetak, pela paciência e dedicação ao transmitir seus conhecimentos.

Agradeço a minha namorada Luciana pelo companheirismo e compreensão durante toda a execução deste trabalho.

Agradeço a minha irmã Andrea pelo carinho e amor que sempre me foi dado.

Agradeço a minha mãe Elizabeth por todo o incentivo e apoio durante toda a graduação

A mente que se abre a uma nova idéia jamais
volta ao seu tamanho original.

Albert Einstein

RESUMO

BUSI, T. P. **Análise Comparativa de Edifícios em Alvenaria Estrutural de Blocos Cerâmicos**: geometria em planta baixa mais recomendada. 2008. 82 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Este trabalho tem como objetivo mostrar qual é a forma geométrica em planta baixa mais adequada para a construção de edificações em alvenaria estrutural. Tendo referência que a alvenaria possui limitações, este trabalho tenta mostrar como as formas geométricas são importantes e fundamentais para uma correta concepção de projeto. Os edifícios aqui estudados, com as seguintes formas geométricas: quadrada, retangular 1:1,65 e retangular 1:3, irão compor uma linha de análise composta de três partes. A primeira parte foi a análise dos três edifícios em que cada um deles com quatro pavimentos. A segunda análise será com os mesmos três edifícios, porém, agora, com cada um deles tendo dez pavimentos, e a terceira análise será com as três edificações possuindo agora dezesseis pavimentos. Essas três análises servirão para mostrar como as tensões atuam nas paredes e para identificar qual geometria possui uma melhor resistência entre as demais, indicando esta como sendo a mais propícia à execução em alvenaria. Espera-se observar nestas análises o comportamento já mostrado em estudos anteriores, nos quais as formas mais simétricas e quadradas tem melhores resultados, quanto à alvenaria estrutural, do que as formas assimétricas e muito retangulares. Desta forma espera-se concluir que a forma quadrada seja a mais recomendada, em segundo lugar a forma retangular 1:1.65 e por último a forma retangular 1:3.

Palavras-chave: alvenaria estrutural; geometria das edificações; modulação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: delineamento de pesquisa	18
Figura 2: compatibilização entre a alvenaria estrutural e os subsistemas	24
Figura 3: reticulado de referência	26
Figura 4: planta baixa da 1ª fiada e localização das aberturas	27
Figura 5: demonstração da 1ª e 2ª fiada e amarrações de blocos	27
Figura 6: diferentes tipos de amarração de blocos	28
Figura 7: modulação de piso a teto	29
Figura 8: modulação de piso a piso	29
Figura 9: distribuição da ação do vento na edificação	31
Figura 10: ação horizontal equivalente ao desaprumo	32
Figura 11: prisma de dois e três blocos	35
Figura 12: efeito das elevações na robustez do prédio.....	48
Figura 13: relações recomendadas entre as dimensões de uma edificação.....	48
Figura 14: eficiência do envelope externo do prédio tomando-se o círculo como referência.....	49
Figura 15: efeito da forma do prédio na resistência à torção devido à atuação de forças horizontais.....	50
Figura 16: relação entre a altura e comprimento de paredes portantes.....	51
Figura 17: arranjos de paredes que conferem maior estabilidade à estrutura.....	51
Figura 18: arranjo estrutural simétrico e assimétrico.....	52
Figura 19: efeito do arranjo de paredes resistentes à torção do prédio.....	53
Figura 20: planta baixa do apartamento tipo.....	55
Figura 21: planta baixa do edifício A.....	56
Figura 22: planta baixa do edifício B.....	57
Figura 23: planta baixa do edifício C.....	59
Figura 24: cortes esquemáticos dos edifícios.....	60
Figura 25: janela gráfica de inserção de dados referentes à ação do vento.....	62
Figura 26: entrada de dados de cálculo.....	64
Figura 27: janela de critérios de áreas.....	65
Figura 28: janela de critérios de coeficientes.....	66
Figura 29: janela de critérios de cargas verticais.....	67
Figura 30: janela de critérios gerais.....	68
Figura 31: janela de conversão de unidades.....	69
Figura 32: janela de critérios de projeto de edifício.....	70

Figura 33: grupos de paredes para a edificação A.....	71
Figura 34: grupos de paredes para a edificação B.....	72
Figura 35: grupos de paredes para a edificação C.....	73
Figura 36: gráfico comparativo de edificações de quatro pavimentos.....	75
Figura 37: gráfico comparativo de edificações de dez pavimentos.....	77
Figura 38: gráfico comparativo de edificações de dezesseis pavimentos.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: tensões admissíveis para a alvenaria não armada	33
Quadro 2: tensões admissíveis para a alvenaria armada	33
Quadro 3: módulo de elasticidade da alvenaria	34
Quadro 4: flexão de seções subarmadas	38
Quadro 5: geometria das portas e janelas das edificações.....	60
Quadro 6: resistências dos blocos ao longo das edificações.....	61
Quadro 7: cargas verticais atuantes nas edificações.....	63
Quadro 8: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício A com quatro pavimentos.....	74
Quadro 9: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício B com quatro pavimentos.....	74
Quadro 10: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício C com quatro pavimentos.....	74
Quadro 11: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício A com dez pavimentos.....	75
Quadro 12: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício B com dez pavimentos.....	76
Quadro 13: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício C com dez pavimentos.....	76
Quadro 14: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício A com dezesseis pavimentos.....	77
Quadro 15: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício B com dezesseis pavimentos.....	78
Quadro 16: resistências de prisma em tf/m^2 no edifício C com dezesseis pavimentos.....	78

LISTA DE SIMBOLOS

f_{bk}	resistência característica do bloco
φ	Ângulo
H	altura da edificação
F	Força
ΔP	peso do pavimento
f_a	resistência à compressão da argamassa de assentamento
f_p	resistência média à compressão dos prismas
R	fator de redução da resistência associado à esbeltez
f_{par}	resistência média à compressão das paredes
ρ	taxa geométrica de armadura
$\bar{f}_{s,c}$	tensão de compressão admissível no aço
M	momento fletor
V	força cortante
d	altura útil
$f_{alv,c}$	tensão de compressão na alvenaria
A	Área
h	altura da parede
t	espessura da parede
η	Eficiência
f_b	resistência à compressão do bloco
f_s	tensão atuante no aço
$\bar{f}_{s,t}$	tensão de tração admissível no aço
f_{alv}	tensão atuante na alvenaria
$\bar{f}_{alv,f}$	tensão de compressão admissível devido à flexão
$k_{x,b}$	parâmetro adimensional relacionado à altura útil
$k_{z,b}$	parâmetro adimensional relacionado à altura útil
A_s	área de armadura de tração
b	espessura do elemento
n	relação entre o módulo de elasticidade do aço e da alvenaria
A_{s1}	área de aço da armadura tracionada em relação ao M_o
ΔM	parcela complementar do momento fletor
f'_s	tensão atuante no aço da armadura comprimida
A'_s	área de aço da armadura comprimida

d'	altura útil da armadura comprimida
A_{s2}	área de aço da armadura tracionada em relação ao ΔM
τ_{alv}	tensão convencional de cisalhamento na alvenaria
$A_{sw,\alpha}$	armadura de cisalhamento
s	espaçamento dos estribos
$f_{alv,f}$	tensão atuante na alvenaria devido à flexão
$\bar{f}_{alv,t}$	tensão de compressão admissível na alvenaria
x	posição da linha neutra
N	força normal
V_0	velocidade básica do vento
$S1$	fator topográfico
$S2$	fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo, e de sua altura sobre o terreno
$S3$	fator baseado em conceitos probabilísticos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 MÉTODO DE PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVO PRINCIPAL.....	16
2.3 HIPÓTESE	16
2.4 PRESSUPOSTO	16
2.5 PREMISA	16
2.6 DELIMITAÇÕES	17
2.7 LIMITAÇÕES	17
2.8 DELINEAMENTO	17
3 CONCEITOS ESTRUTURAIS DA ALVENARIA	19
3.1 HISTÓRIA DA ALVENARIA	19
3.2 COMPONENTES DA ALVENARIA	20
3.2.1 Blocos ou Unidades	20
3.2.1.1 Blocos Cerâmicos	21
3.2.1.2 Blocos em Concreto	21
3.2.2.3 Blocos Sílico-Calcários	22
3.2.2 Argamassa	22
3.2.3 Graute	22
3.2.3 Armadura	23
3.3 ASPECTOS ECONÔMICOS	23
3.3.1 Vantagens da Alvenaria Estrutural	25
3.3.2 Desvantagens da Alvenaria Estrutural	25
3.4 MODULAÇÃO	25
3.4.1 Modulação Horizontal	26
3.4.2 Modulação Vertical	28
3.5 AÇÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS	29
3.5.1 Ações Verticais	29
3.5.2 Ações Horizontais	30
3.5.2.1 Ação do Vento	30
3.5.2.2 Desaprumo	31
3.6 CÁLCULO ESTRUTURAL DA ALVENARIA	32
3.6.1 Compressão Simples	34
3.6.2 Flexão Simples	36

3.6.2.1 Dimensionamento Balanceado	36
3.6.2.2 Dimensionamento Subarmado	37
3.6.2.3 Dimensionamento Superarmado	38
3.6.2.4 Dimensionamento com Armadura Dupla	40
3.6.3 Cisalhamento	42
3.6.4 Flexão Composta	43
4 FORMA GEOMÉTRICA DAS EDIFICAÇÕES.....	47
5 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	54
5.1 DEFINIÇÃO DAS FORMAS GEOMETRICAS.....	54
5.2 DEFINIÇÕES DOS EDIFÍCIOS.....	60
5.3 CARREGAMENTOS.....	61
5.3.1 Força Horizontal.....	61
5.3.2 Forças Verticais.....	63
5.4 MÉTODO DE CÁLCULO.....	63
6 RESULTADOS.....	71
7 CONCLUSÕES FINAIS.....	80
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um sistema de construção onde basicamente não existem pilares nem vigas e a sustentação da edificação se dá através das paredes que estão recebendo toda a carga (ROMAN et al., 1999, p. 16). Com a retirada destes elementos construtivos, vigas e pilares, a alvenaria passa a ter duas funções ao invés de uma, a de elemento estrutural e a de vedação, o que se torna muito favorável à economia (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9).

A alvenaria estrutural é uma das formas de construção mais antiga da humanidade, exemplos destes feitos podem ser vistos ao redor do Mundo. Com a utilização dos mais variados materiais, entre eles, a pedra e o barro, este sistema construtivo ergueu obras que atravessaram os tempos e se tornaram verdadeiros monumentos de essencial importância histórica (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 2). Pode-se citar as Pirâmides de Guizê, localizadas no Egito e construídas por volta de 2600 a.C; o Farol de Alexandria; a Catedral de Notre-Dame e o Coliseu. Este sistema manteve-se absoluto até meados do século XIX. Com o aparecimento do concreto armado, o mesmo perdeu força, visto que este novo material possuía além de resistência à tração, melhor controle de qualidade (BONILHA, 1991, p. 4).

Atualmente o mercado da construção civil em alvenaria estrutural está em amplo crescimento, demandando cada vez mais profissionais especializados no assunto. O que no passado foi o principal responsável pelo seu desuso, hoje se torna uma das suas principais características. A qualidade dos blocos assim como seu desempenho foram um dos fatores que colocou a alvenaria estrutural de volta ao mercado moderno. Outra característica é a sua racionalização e a sua velocidade na construção, tornando o retorno do valor investido mais rápido.

Sabe-se que a alvenaria suporta grandes tensões de compressão, porém apresenta problema nas tensões de tração (ROMAN et al., 1999, p. 17). O vento, que incide nas fachadas do edifício, faz com que este sofra um deslocamento horizontal crescente à medida que se aumenta a edificação. Esse deslocamento flexiona as paredes, ocasionando tensões de tração indesejadas em pontos da estrutura.

A proposta deste trabalho é comparar edificações com mesmo número de pavimentos e mesma área construída, porém, com formas geométricas diferenciadas, a fim de se verificar qual é a mais recomendada geometria em planta baixa de um edifício em alvenaria estrutural,

tendo como principal carregamento a ação do vento. Este trabalho será feito com a ajuda de um programa computacional criado exclusivamente para cálculo e dimensionamento de edifícios em alvenaria. Com base nos dados obtidos pelo software serão feitas a análise e a conclusão a respeito deste tema.

O trabalho será dividido em sete capítulos nos quais serão apresentados os seguintes temas: introdução, método de pesquisa, conceitos estruturais da alvenaria, forma geométrica das edificações, análise estrutural, resultados e por fim conclusões finais.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual é a forma geométrica em planta baixa das edificações de múltiplos pavimentos mais adequada à execução em alvenaria estrutural?

2.2 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal deste trabalho é a demonstração, através de análises computacionais, de qual forma geométrica em planta baixa é a mais apropriada para o uso em edifícios em alvenaria estrutural.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese deste trabalho é que a forma geométrica em planta baixa mais adequada à execução em alvenaria estrutural é a quadrada.

2.4 PRESSUPOSTO

Nesse trabalho é pressuposto que o método de grupos isolados de paredes é adequado para uniformização das cargas em cada grupo de paredes consideradas nas edificações em alvenaria estrutural.

2.5 PREMISSA

A premissa deste trabalho é que a forma geométrica em planta baixa das edificações influencia consideravelmente nas tensões atuantes nos blocos.

2.6 DELIMITAÇÕES

As delimitações deste trabalho são:

- a) serão estudadas três edificações residenciais de referência, onde cada uma delas terá aproximadamente a mesma área construída, variando-se em cada uma delas o número de pavimentos (4, 10 e 16 pavimentos);
- b) todas as edificações serão consideradas como localizadas em Porto Alegre e construídas com blocos cerâmicos de espessura constante de 14 cm tanto nas paredes internas quanto nas externas.

2.7 LIMITAÇÕES

As limitações deste trabalho são:

- a) será comparado o comportamento estrutural somente das seguintes formas geométricas em planta baixa: quadrada, retangular 1:1,65 e retangular 1:3;
- b) para todos os edifícios não será considerado a existência de poço de elevador, independente do número de pavimentos do mesmo;
- c) todos os apartamentos terão mesmo layout e o posicionamento de cada um deles no pavimento pode gerar a existência de portas ou janelas em lugares não funcionais;
- d) a análise estrutural dos edifícios será feita somente com o uso do software computacional CAD/Alvest da TQS Informática Ltda.

2.8 DELINEAMENTO

O trabalho será dividido nas etapas abaixo enumeradas e detalhadas no próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) aprendizado do software;
- c) dados de entrada;
- d) entrada de dados no software;
- e) análise computacional;
- f) análise dos resultados;
- g) conclusão.

A pesquisa bibliográfica consiste no aprendizado teórico do método de construção e dimensionamento em alvenaria estrutural através da leitura de livros, revistas, artigos e qualquer outro material do gênero que possa aumentar o conhecimento no assunto.

O aprendizado do software se dará através da leitura dos manuais e auxílio ao suporte do programa para se fazer uma correta e eficiente utilização do software. Serão colhidos dados de entrada que consistirão em parâmetros e definições das informações necessárias para entrada de dados no sistema. Após definidos os dados de entrada será iniciada a fase de entrada de dados no software que consistirá na inserção dos elementos como planta baixa, blocos, carregamentos, elementos de contraventamento, módulo de elasticidade, propriedades dos materiais entre outros no sistema operacional. Com estes dados inseridos o software fará um dimensionamento de toda a estrutura e com base nesse resultado será feita uma análise comparativa entre todos os outros edifícios

Com base na análise dos resultados obtidos será proposta uma conclusão sobre qual a forma geométrica em planta baixa é a mais adequada para a execução em alvenaria estrutural. Na figura 1 apresenta-se o diagrama do delineamento

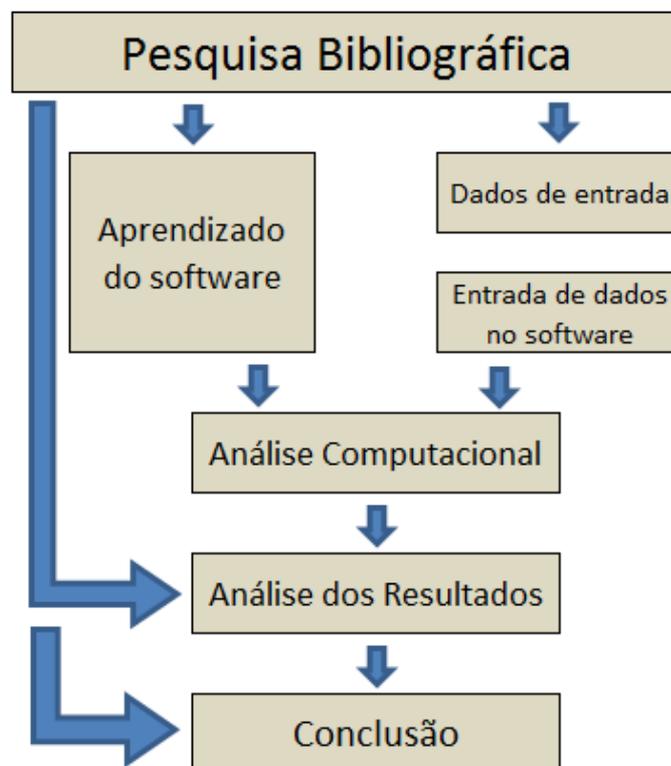


Figura 1 – Delineamento da pesquisa

3 CONCEITOS ESTRUTURAIS DA ALVENARIA

3.1 HISTÓRIA DA ALVENARIA

É possível que a alvenaria tenha sido inventada por um nômade recolhedor de alimentos, há uns 15.000 anos atrás. Pode-se imaginar que não encontrando um refúgio natural para se proteger do frio e dos animais selvagens, este decidiu empilhar pedras criando um lugar para se abrigar (GALLEGOS, 1989, p. 57). Esta teoria mostra que a alvenaria estrutural é conhecida pelo homem desde o início dos tempos. Porém, com o passar dos anos, o material utilizado vem sendo modificado ou substituído para uma melhor adequação à realidade de cada período (COELHO, 1998, p. 13).

É possível identificar uma peculiaridade geológica na história e evolução da alvenaria. Os egípcios possuíam diversas variedades de rochas enquanto que os gregos tinham o mármore. Os romanos, além de importar rochas do Egito e da Grécia, possuíam um tipo de rocha vulcânica, entre elas a pozzolana, com a qual era possível criar uma espécie de concreto da época. Tendo em vista que as pedras foram se tornando escassas e que o trabalho manual com pedras era muito complicado, este pode ter sido a explicação para o uso de peças menores nas grandes obras, como, por exemplo, o tijolo. Havia regiões em que não existia abundância de rochas naturais, como é o caso de região dos rios Eufrates e Tigre, porém estas duas regiões possuíam jazidas de argilas utilizadas para a confecção de tijolos, que podiam ser queimados ao sol ou em fornos (GOMES, 1983, p. 3).

Na história da alvenaria muitos foram os materiais utilizados, como por exemplo na Torre de Babel, na qual conta-se que foram utilizados tijolos queimados. Já na construção das pirâmides do Egito a opção de utilização foi de enormes blocos de pedra. O Farol de Alexandria, construído aproximadamente 280 a.C, foi erguido utilizando mármore branco.

Embora se tratassem de obras arrojadas para seu tempo, de grande porte, todas elas eram erguidas empiricamente. Seus construtores apenas achavam intuitivamente que a alvenaria conduziria as cargas até o solo. Entre 1889 e 1891 foi construído, ainda de forma empírica, em Chicago, com 16 andares e 65 metros de altura, o edifício Monadnock que possuía em sua base paredes de 1,80 metros de espessura (CAMACHO, 1986, p. 6).

Com o aparecimento do aço e do concreto em meados do século XIX a alvenaria estrutural foi deixada de lado. Por apresentarem grandes vantagens econômicas e técnicas, grandes quantidades de pesquisas começaram a ser realizadas e novos métodos construtivos foram propostos. Dentre os motivos que fizeram a alvenaria ficar em segundo plano, pode-se citar a ótima resposta que o novo material podia dar com relação as tensões de tração, falta de controle na resistência dos tijolos, entre outras tantas vantagens que o concreto armado exercia sobre a alvenaria (GOMES, 1983, p. 5). Com o método de construção em alvenaria ficou esquecido este material começou a ser utilizado quase que exclusivamente como vedação (CAMACHO, 1986, p. 6).

Com o passar do tempo a qualidade do material utilizado para a alvenaria foi se aprimorando e novos estudos sobre estes materiais começaram a ser desenvolvidos, com o objetivo de estabelecer normas e equacionar o seu comportamento submetido a diversos esforços. Espelhando-se no concreto armado, algumas pesquisas começaram a ser desenvolvidas contemplando a possibilidade de incorporar o aço na alvenaria, para que esta suportasse as tensões de tração submetidas (BONILHA, 1991, p. 4).

Neste curto espaço de tempo, de aproximadamente um século, o conhecimento sobre a alvenaria estrutural cresceu exponencialmente (CAMACHO, 1986, p. 7). Acredita-se que se o edifício Monadnock tivesse sido dimensionado em épocas atuais, com o conhecimento atual, suas paredes não teriam espessura maior que 30 cm (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 4).

3.2 COMPONENTES DA ALVENARIA

Entende-se por componente da alvenaria aquele material que agregado à outros comporão a estrutura. O bloco ou unidade, a argamassa, o graute e a armadura são os principais componentes da alvenaria estrutural (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 1). Estes componentes são detalhados nos próximos itens.

3.2.1 Blocos ou Unidades

Os blocos, ou unidades, são produtos paralelepipedais, industrializados, com peso e tamanhos compatíveis para serem manuseados pelo operador e adequados para compor a alvenaria

(ROMAN et al., 1999, p. 21). Os blocos são a essência da parede em alvenaria, com a qual não existiria sem os mesmos. O bloco estrutural governa as principais propriedades da alvenaria.

As unidades utilizadas para a elevação da alvenaria estrutural podem ser denominadas de vazadas ou maciças. Denomina-se uma unidade maciça aquela em que o índice de vazios não supera em 25% a sua área total, caso contrário a unidade é denominada vazada. Outro detalhe de extrema importância é a consideração, para fins de cálculo, de qual área será utilizada no dimensionamento. Este parâmetro é essencial, pois o cálculo das tensões admissíveis nas unidades se dará através da área bruta (área da unidade não sendo descontados os vazios) ou então da área líquida (área da unidade descontando-se os vazios) (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 7).

As unidades devem apresentar uma cor homogênea e compacta, apresentando arestas vivas e sem rachaduras ou fissuras nas unidades que possam comprometer sua resistência e durabilidade na obra. O f_{bk} , resistência característica do bloco, não deve ser inferior a 4 MPa em blocos utilizados nas paredes, internas e externas, com revestimentos e menores que 6 MPa em paredes externas sem revestimentos (MANZIONE, 2007, p. 18). Os blocos mais utilizados e comercializados no Brasil são os cerâmicos, os em concreto e os sílico-calcários.

3.2.1.1 Blocos Cerâmicos

São unidades produzidas através da queima, em fornos, da argila. Sua moldagem é feita em máquinas extrusoras e sua porosidade pode ser desprezível por causa da sua sinterização perfeita (COÊLHO, 1998, p. 32). A qualidade dos blocos está 100% relacionada com a qualidade da argila em uso, podendo existir muita discrepância entre as resistências dos blocos, fazendo-se necessários testes e ensaios de caracterização das unidades (ROMAN et al., 1999, p. 22)

3.2.1.2 Blocos em Concreto

São unidades produzidas através da mistura e cura de cimento Portland, água e agregados menores que 25% da menor espessura das paredes (COÊLHO, 1998, p. 22). São fabricados através de vibroprensagem e cura a vapor (MANZIONE, 2007, p. 17). As dimensões dos

blocos têm tolerância máxima de 3 mm, para mais ou para menos, e devem ser medidas com precisão de 0,5 mm (ROMAN et al., 1999, p. 23).

3.2.1.3 Blocos Sílico-Calcários

São unidades produzidas através da mistura de areia silicosa (quartzosa) e cal virgem em pó. Esta mistura é moldada e levada a autoclaves onde são submetidas a pressões de 16 atm e temperatura de aproximadamente 210°C (COÊLHO, 1998, p. 36). Este tipo de bloco é o menos utilizado para a alvenaria estrutural nos dias atuais no Brasil, por ser fabricado apenas por uma empresa em todo o território nacional.

3.2.2 Argamassa

A argamassa é o elemento que liga os blocos estruturais e usualmente é constituída de cimento, areia, cal e água. Suas funções são de ligação entre os blocos, uniformizar as tensões entre as unidades, vedar o sistema e absorver pequenas deformações. Uma argamassa deve ter como principais características: trabalhabilidade, retentividade de água, plasticidade e resistência a compressão. Dentre todas estas características mencionadas a mais importante é a plasticidade, pois é esta que fará com que as tensões sejam distribuídas uniformemente sobre os blocos (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 8).

3.2.3 Graute

O graute é um concreto com agregados de pequena dimensão e que possui alta plasticidade. Sua principal função é aumentar a resistência à compressão da parede através do aumento da seção das unidades ou incorporar qualquer armadura que esteja no interior dos blocos (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 8). Segundo a NBR 10837 – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto – (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), o graute deve ter sua resistência característica não menor que duas vezes a resistência do bloco, isso quer dizer que um bloco de 8 MPa deve ter um graute de no mínimo 16 MPa.

3.2.4 Armadura

As armaduras utilizadas na alvenaria estrutural são idênticas às usadas no concreto armado. Neste caso, toda armadura colocada dentro dos blocos, seja esta com função estrutural ou construtiva, deve ser envolvido com graute. Somente nas armaduras com a função de amarrar as paredes é que não se faz necessário a utilização do graute, pois estas estarão embutidas entre as juntas de argamassa. Vale salientar que este tipo de armadura não deve ultrapassar o diâmetro máximo de 3,8 mm, para não ocupar mais que a metade da espessura da argamassa (RAMALHO; CORRÊA, 2003 p. 8). As armaduras podem ter funções estrutural, para combater eventuais trações nos blocos, construtiva ou de amarração das paredes. Porém esta última função da armadura é desaconselhável para a alvenaria visto que o mesmo não permite uma correta distribuição de tensões entre os blocos, podendo haver patologias na alvenaria (MANZIONE, 2007, p. 22).

3.3 ASPECTOS ECONÔMICOS

Um item importante que se deve ressaltar é que a alvenaria estrutural possui duas funções básicas principais dentro das edificações: a de vedação e a de estrutura portante. Tendo estas duas funções, não há a necessidade da existência de vigas ou pilares na edificação, já que as tensões de compressão serão distribuídas, do topo da edificação ao solo, pelas paredes.

A alvenaria estrutural está diretamente relacionada com a racionalização e coordenação de todos os subsistemas que compõem a edificação, visto que, para uma adequada utilização deste método de construção, todos os subprojetos, como hidráulico e elétrico, devem estar perfeitamente integrados e compatibilizados. Este sistema construtivo pode ser então resumido como um método construtivo complexo, que integra todos os outros subsistemas e une os diversos projetos com uma correta interface projeto-execução. Este sistema que compatibiliza os subprojetos pode ser visto na figura 2 (MANZIONE, 2007, p. 13).



Figura 2 – Compatibilização entre a alvenaria estrutural e os subsistemas (baseada em MANZIONE; 2007, p. 14)

Considerando a realidade brasileira, a alvenaria é aconselhável para no máximo edificações com até 16 pavimentos. Isto ocorre devido às resistências dos blocos encontradas no mercado, que atualmente não atenderiam às tensões de compressão atuantes em edificações com um número maior de pavimentos, ocasionando um grauteamento generalizado, o que inviabilizaria economicamente a estrutura. Além disso, devido a altura significativa, as forças horizontais se intensificariam ocasionando flexões nas paredes e conseqüentemente tensões de tração em toda a estrutura, sendo novamente necessário a utilização generalizada de armaduras e graute para combater estas tensões (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9). Outro requisito básico para a correta concepção estrutural da alvenaria é a simetria. A edificação deve ser o mais simétrica possível em todos os seus aspectos, como, por exemplo, na geometria: tanto em planta baixa quanto na elevação, na distribuição das paredes no pavimento e na disponibilização das aberturas para que com isso possam ser evitadas torções e trações acentuadas na edificação.

Como qualquer sistema construtivo, a alvenaria estrutural apresenta vantagens e desvantagens. O importante para a construção de uma edificação em alvenaria estrutural é conhecer bem, tanto os pontos positivos do sistema, que devem ser bem aplicados e maximizados, quanto os pontos negativos, que devem ser eliminados do projeto ou então minimizados ao máximo.

3.3.1 Vantagens da Alvenaria Estrutural

Com a utilização da alvenaria estrutural, a edificação é economicamente favorecida pois esta implica na eliminação de vigas e pilares da estrutura (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 9). Além de a alvenaria estar executando duas funções ao invés de uma só, com a retirada destes componentes, vigas e pilares, é facilmente visto que há uma economia significativa com formas e escoras. Como a alvenaria é modulada e os subsistemas são compatibilizados, não há desperdício de material ou então de rasgos e aberturas feitas posteriormente à elevação da parede. Pelo fato das paredes da edificação serem executadas com blocos e estes terem um controle rigoroso, tanto na fabricação quanto na execução, tem-se uma economia nos revestimentos internos e externos. Outras vantagens da alvenaria é a redução de pessoal na obra, visto que há uma redução de carpinteiros ou uma redução significativa no tempo de construção da obra, pois se forem usadas lajes pré-moldadas a edificação não necessitará mais da vinculação do tempo de cura do concreto.

3.3.2 Desvantagens da Alvenaria Estrutural

Apesar da alvenaria ter muitas vantagens em comparação ao concreto armado, na maioria deles em relação à economia, não se pode esquecer das limitações do sistema que podem trazer desvantagens econômicas se mal projetadas. Uma principal desvantagem da alvenaria é a difícil mudança de layout das dependências previamente definidas. Pesquisas mostram que ao longo dos anos as edificações tendem a sofrer mudanças de acordo com a necessidade dos moradores, e no caso da alvenaria se estas mudanças não foram imaginadas e previamente projetadas, isto se torna tecnicamente impossível de ser realizado (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 12). Outras desvantagens que a alvenaria possui, podem ser exemplificadas como a necessidade de uma mão-de-obra bem qualificada para a construção da edificação e a limitação de balanços que consumiriam muita armadura para resistir a flexão.

3.4 MODULAÇÃO

A coordenação modular é a técnica de adequar o projeto arquitetônico a uma modulação base (MANZIONE, 2007, p. 29). O mercado atual oferece a possibilidade da escolha de dois módulos básicos, os de 15 cm e 20 cm. A modulação deve ser feita tanto na direção

horizontal, ou seja na direção do plano das lajes, como também na direção vertical que é a elevação das paredes. As dimensões dos blocos irão definir a modulação tanto horizontal, que esta ligada à largura e espessura dos blocos, quanto vertical que está relacionada com a altura dos mesmos. Numa edificação em alvenaria estrutural é recomendável que o comprimento do bloco seja múltiplo da espessura do mesmo (dimensões nominais), tornando assim mais fácil a modulação e evitando-se o uso indesejado de peças especiais como compensadores.

3.4.1 Modulação Horizontal

O primeiro conceito que deve ser esclarecido é que o bloco possui dois comprimentos. Um dos comprimentos é o chamado de nominal, que são as dimensões modulares (15, 20, 30, 40, 45 cm, etc.), e o outro comprimento é o real, que são as dimensões reais dos blocos (14, 19, 29, 39, 44 cm, etc.). Para essas dimensões modulares e reais estão sendo consideradas juntas de assentamento de 1 cm, que são as mais utilizadas (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 16).

O primeiro passo a ser efetuado para uma modulação eficiente é o traçado de um reticulado de referência, a partir de um modulo básico pré-definido, 15 ou 20 cm, como é mostrado na figura 3.

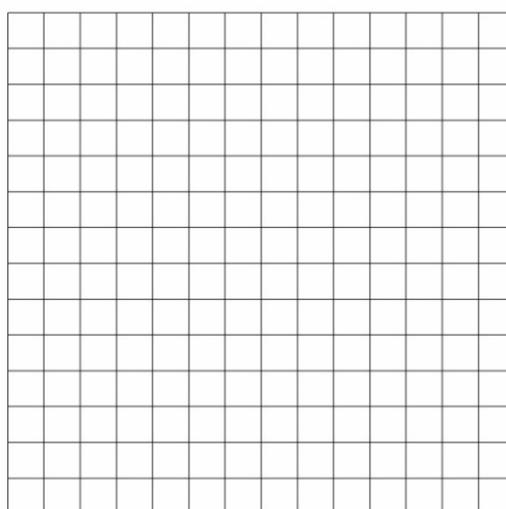


Figura 3 – Reticulado de referência

O segundo passo é inserir os blocos neste reticulado, já compondo a localização das paredes no pavimento e definindo-se as aberturas, como é ilustrado na figura 4.

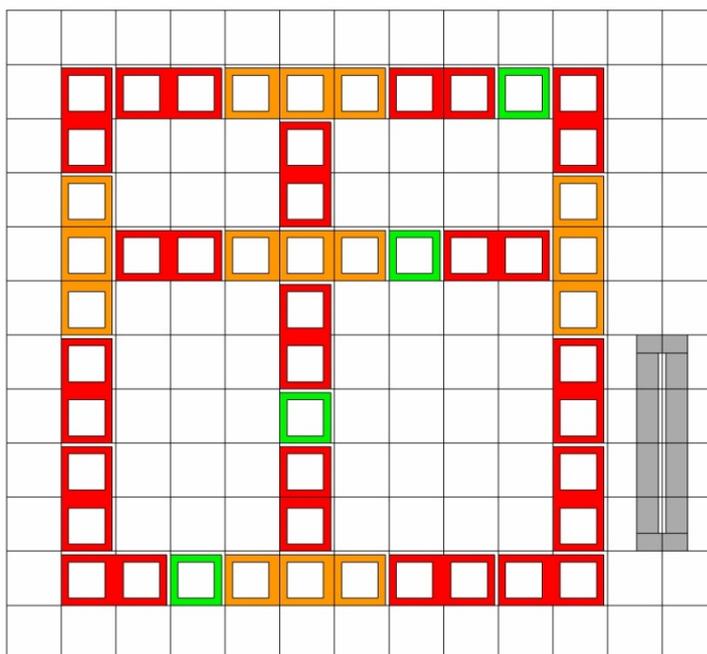


Figura 4 – Planta da 1ª fiada e localização das aberturas

Depois de feita a modulação da primeira fiada, deve-se incorporar à edificação a planta da segunda fiada e analisar as possíveis amarrações entre os blocos, como é observado na figura 5.

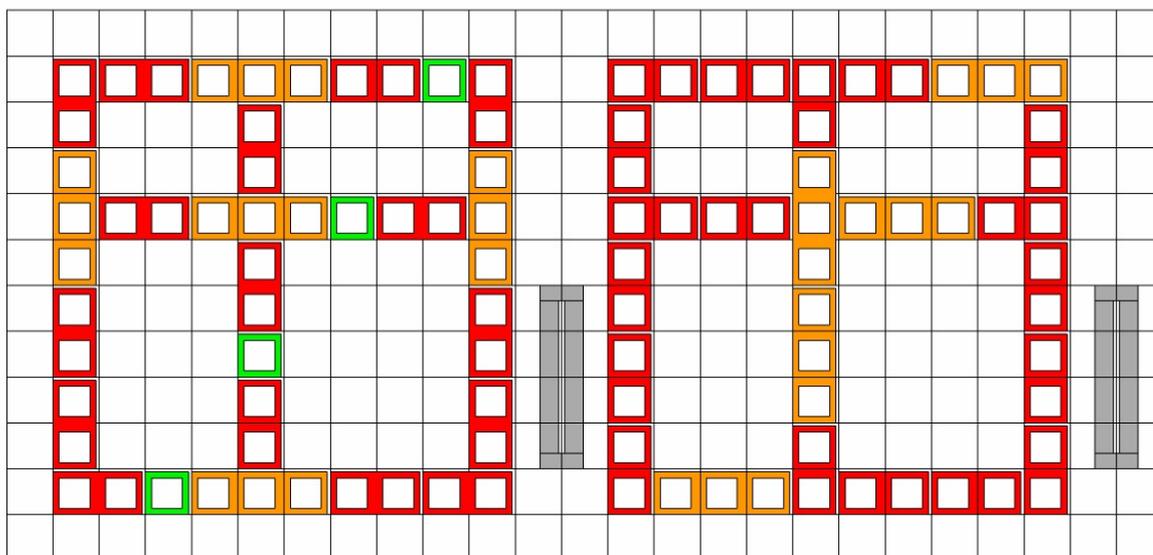


Figura 5 – Demonstração da 1ª e 2ª fiada e amarrações de blocos

Outro fator importante na modulação dos blocos é a correta amarração dos mesmos. É necessário que todas as paredes tenham uma amarração desencontrada de unidades para que

as cargas possam ser distribuídas uniformemente por todo o grupo de paredes, conforme se mostra na figura 6.

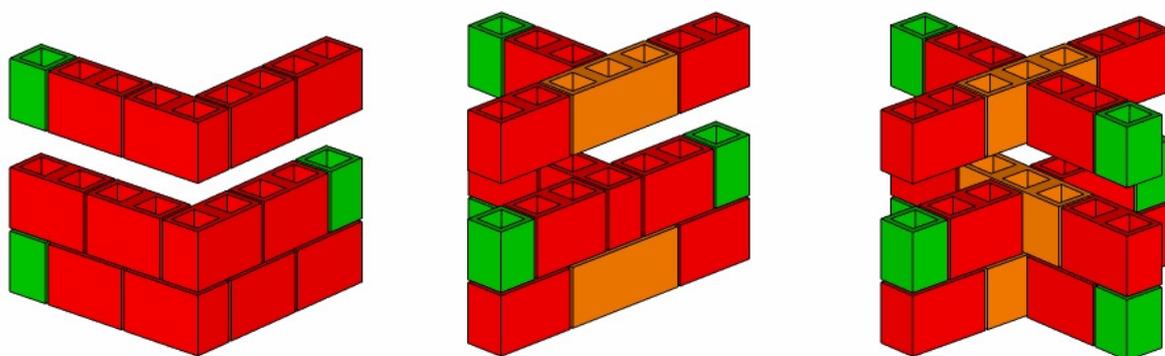


Figura 6 – Diferentes tipos de amarração de blocos

3.4.2 Modulação Vertical

A modulação vertical dificilmente atrapalha o arranjo arquitetônico da edificação. Existem duas formas de se fazer a modulação vertical. A primeira trata de ser considerada a altura do pavimento de piso a teto. Neste caso as paredes externas terminarão com um bloco J com uma das laterais maior que a outra, de forma a acomodar a laje. As paredes internas terminarão com um bloco canaleta, conforme ilustrado na figura 7. Já a segunda modulação, apresentada na figura 8, considera a altura do pavimento de piso a piso. A diferença dos dois sistemas está na utilização dos blocos canaleta. Enquanto que no primeiro caso é usado um bloco padronizado com altura igual aos demais, no segundo caso o bloco deve ser compensador para que junto com a espessura da laje dê continuidade na modulação, que geralmente é de 20 cm (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 22).

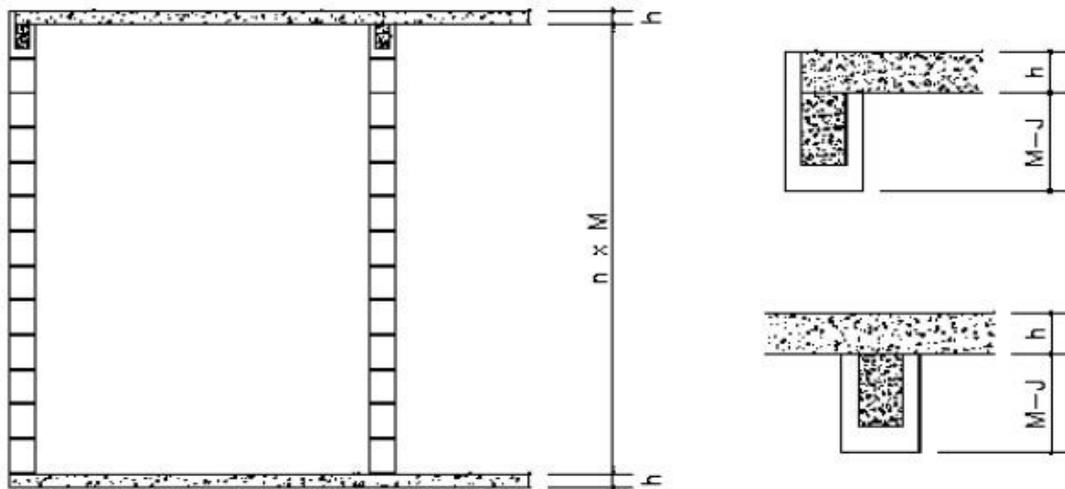


Figura 7 – Modulação de piso a teto (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 22)

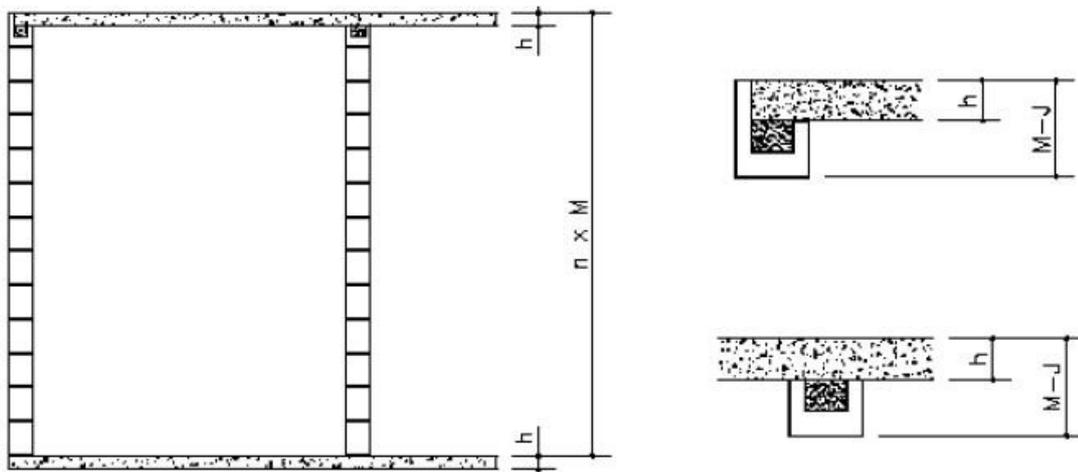


Figura 8 – Modulação de piso a piso (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 23)

3.5 AÇÕES VERTICAIS E HORIZONTAIS

3.5.1 Ações Verticais

O carregamento vertical atuante numa edificação é composta por dois tipos de cargas, as permanentes e as variáveis. A NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 1) informa que a carga permanente “[...] é constituído pelo peso próprio da estrutura e pelo peso de todos os elementos construtivos fixos e instalações permanentes.”. Num projeto de edificações em alvenaria estrutural estes carregamentos são basicamente o peso próprio das paredes, lajes,

contrapisos, revestimentos, forros, cargas de reservatórios e qualquer outra máquina instalada permanentemente na edificação como é o caso, por exemplo, dos elevadores.

Já para as cargas acidentais a mesma NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 1) informa que: “É toda carga que pode atuar sobre a estrutura de edificações em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais, diversos, veículos, etc.)”. No caso de edificações residenciais, estas cargas são basicamente cobertas pela sobrecarga que para a mesma podem variar de 1,5 a 2,0 kN/m².

3.5.2 Ações Horizontais

Para o caso de carregamentos horizontais há três ações que devem ser consideradas: o vento, o desaprumo e a atuação de sismos. Como a ação de sismos não é a realidade brasileira, não será tratada neste trabalho.

3.5.2.1 Ação do Vento

É conhecido que o vento incide nas paredes externas do edifício que são normais a sua direção. Estas paredes irão repassar a força do vento às lajes, que atuam como diafragmas rígidos, e estas irão distribuir esta força às paredes perpendiculares à primeira, que serão as paredes de contraventamento, conforme ilustrado na figura 9 (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 46).

Para a consideração da força que o vento atua na edificação é necessário a utilização da NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações – (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) ou então ensaio reduzido em túnel de vento.

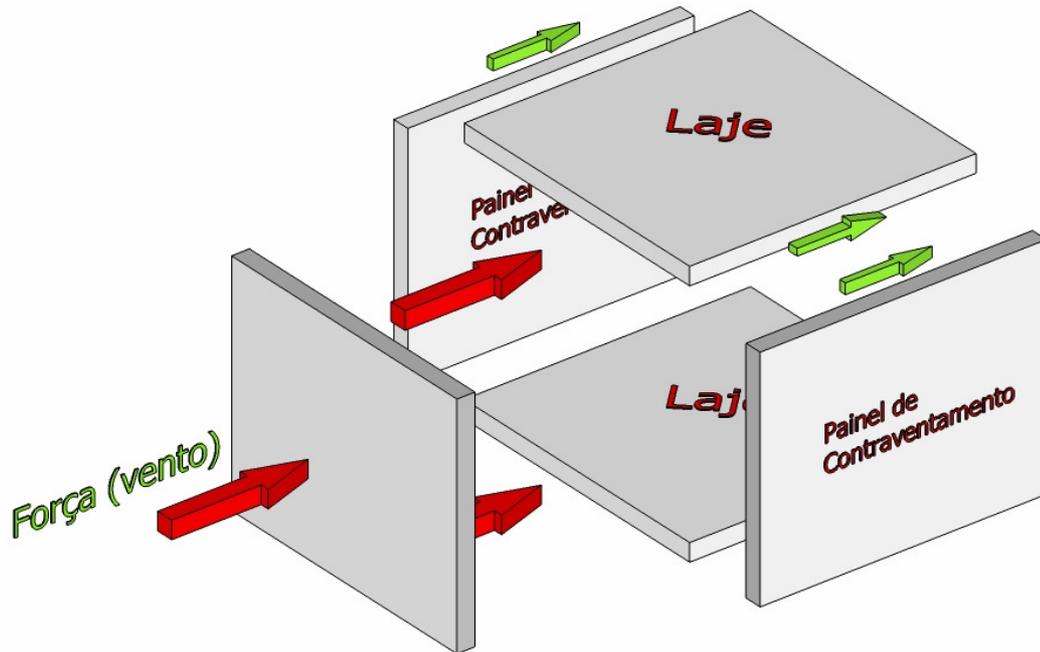


Figura 9 – Distribuição da ação do vento na edificação
(baseado em RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 46)

3.5.2.2 Desaprumo

Para a consideração do desaprumo é sugerido que se utilize a norma alemã DIN 1053 – Alvenaria: Cálculo e Execução, visto que esta relaciona o ângulo de desaprumo da edificação conforme sua altura (DEUTSCH INDUSTRIE NORMEN, 1974¹ apud RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 47):

$$\varphi = \frac{1}{100 \times \sqrt{H}} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

φ = ângulo em radianos;

H = altura da edificação em metros.

¹ DEUTSCH INDUSTRIE NORMEN. DIN 1053 – Alvenaria: Cálculo e execução. Tradução de H. J. Okorn. São Paulo, 1974.

Com este ângulo é possível determinar forças horizontais que podem simplesmente ser somadas às forças devidas ao vento, como é exemplificado na figura 10. (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 47):

$$F_d = \Delta P \times \varphi \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

F_d = força horizontal que equivale ao desaprumo;

ΔP = peso do pavimento considerado.

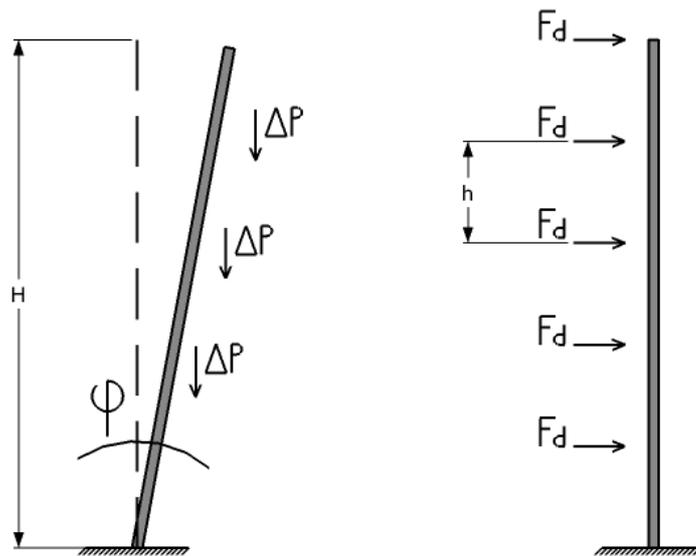


Figura 10 – Ação horizontal equivalente ao desaprumo (baseado em RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 48)

3.6 CÁLCULO ESTRUTURAL DA ALVENARIA

Segundo a NBR 10837 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), a resistência da alvenaria estrutural é calculada através das tensões admissíveis. Os quadros 1 e 2 apresentam um resumo das prescrições da Norma para a alvenaria não armada e para a alvenaria armada, respectivamente.

Tipo de solicitação			Tensão admissível (Mpa)	
			$12.0 \leq f_a \leq 17.0$	$5.0 \leq f_a \leq 12.0$
Tensões Normais	Compressão simples	Parede	$0.20 f_p R$ ou $0.286 f_{par} R$	$0.20 f_p R$ ou $0.286 f_{par} R$
		Pilar	$0.18 f_p R$	$0.18 f_p R$
	Compressão na flexão		$0.30 f_p$	$0.30 f_p$
	Tração na flexão	Normal à fiada	0.15 (bloco vazado) 0.25 (bloco maciço)	0.10 (bloco vazado) 0.15 (bloco maciço)
		Paralela à fiada	0.30 (bloco vazado) 0.55 (bloco maciço)	0.20 (bloco vazado) 0.40 (bloco maciço)
Cisalhamento			0.25	0.15

Quadro 1 – Tensões admissíveis para a alvenaria não armada – NBR 10837
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

Tipo de solicitação			Tensão admissível (Mpa)	Valor máximo (Mpa)	
Tensões normais	Compressão simples	Parede	$0.225 f_p R$	$0.33 f_p \leq 6.2$	
		Pilar	$(0.20 f_p + 0.30 \rho f_{s,c})$		
	Compressão na flexão		$0.33 f_p$	6.2	
	Tração na flexão		-	-	
Cisalhamento	Peças fletidas sem armadura	Vigas		$0.09 \sqrt{f_p}$	0.35
		Pilares parede	$Se (M/Vxd) \geq 1$	$0.07 \sqrt{f_p}$	0.25
			$Se (M/Vxd) < 1$	$0.17 \sqrt{f_p}$	0.35
	Peças fletidas com armadura para todas as tensões de cisalhamento	Vigas		$0.25 \sqrt{f_p}$	1
		Pilares parede	$Se (M/Vxd) \geq 1$	$0.12 \sqrt{f_p}$	0.5
			$Se (M/Vxd) < 1$	$0.17 \sqrt{f_p}$	0.8
Tensão de contato	Em toda a espessura da parede		$0.250 f_p$		
	Em 1/3 da espessura (mínimo)		$0.375 f_p$		
	Entre os limites acima		Interpolar os valores anteriores		
Aderência			1.0		

Quadro 2 – Tensões admissíveis para alvenaria armada – NBR 10837
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989)

O módulo de elasticidade da alvenaria é ainda um parâmetro bastante controverso entre vários especialistas. Neste trabalho serão adotados valores apresentados no quadro 3.

Bloco	Módulo de Deformação	Ealv (Mpa)	Valor Máximo (MPa)
Concreto	Longitudinal	800 fp	16.000
	Transversal	400 fp	6.000
Cerâmico	Longitudinal	600 fp	12.000
	Transversal	300 fp	4.500

Quadro 3 – Módulos de Elasticidade da alvenaria
(RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 94)

A alvenaria estrutural tem quatro dimensionamentos principais: compressão simples, flexão simples, cisalhamento e flexão composta.

3.6.1 Compressão Simples

Este é o dimensionamento mais simples da alvenaria estrutural e para alguns autores é praticamente a única verificação necessária para edificações de até seis pavimentos. Este dimensionamento tem como princípio fundamental que a tensão atuante na parede não deve ser superior a uma tensão admissível da mesma. A tensão atuante nada mais é que a força que está sendo aplicada na parede dividida pela sua área, como mostra a equação 3:

$$f_{alv,c} = \frac{F}{A} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$f_{alv,c}$ = tensão de compressão na alvenaria;

F = força;

A = área.

A tensão admissível para a alvenaria é obtida através dos quadros 1 e 2 deste trabalho. Esta tem como variável a esbeltez da peça e a resistência de prisma. A esbeltez da peça é obtida através da equação 4:

$$R = 1 - \left(\frac{h}{40 \times t} \right) \quad (\text{equação 4})$$

Onde:

R = fator de redução da resistência associado à esbeltez;

h = altura da parede;

t = espessura da parede.

A resistência de prisma é obtida através de ensaios de laboratório onde são colocados dois blocos ou mais unidos com argamassa e submetidos a ensaio de compressão axial.

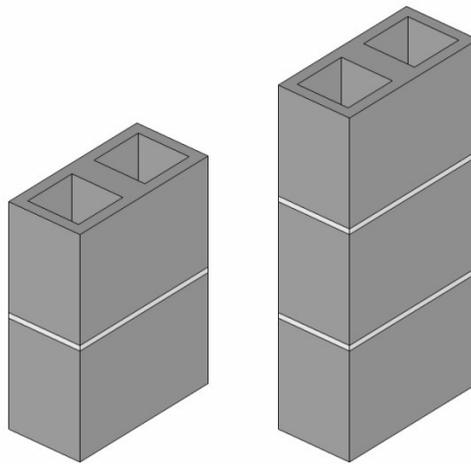


Figura 11 – Prisma de dois e três blocos

Com este ensaio pode-se também fazer uma suposição que é conhecida como **eficiência**, que trata da relação entre a resistência do prisma e do bloco, e é ilustrada na equação 5 (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 79):

$$\eta = \frac{f_p}{f_b} \quad (\text{equação 5})$$

Onde:

η = eficiência;

f_p = resistência média à compressão dos prismas;

f_b = resistência à compressão do bloco.

3.6.2 Flexão Simples

As principais peças submetidas à flexão simples nas edificações em alvenaria estrutural são as vergas, os reservatórios e os muros de arrimo. Isso ocorre quando o esforço de flexão é muito mais elevado do que as tensões de compressão (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 98). Existem basicamente quatro tipos de flexão simples que são denominados dimensionamento balanceado, subarmado, superarmado e com armadura dupla. Estas formas de dimensionamento são a seguir detalhadas.

3.6.2.1 Dimensionamento Balanceado

A flexão simples com dimensionamento balanceado tem como principal objetivo o melhor aproveitamento dos materiais e é obtido quando considerada igualdade entre as tensões admissíveis e atuantes no aço e na alvenaria (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 102). Este parâmetro é mostrado nas equações 6 e 7, respectivamente:

$$f_s = \bar{f}_{s,t} \quad (\text{equação 6})$$

$$f_{alv} = \bar{f}_{alv,f} \quad (\text{equação 7})$$

Onde:

f_s = tensão atuante no aço;

$\bar{f}_{s,t}$ = tensão de tração admissível no aço;

f_{alv} = tensão atuante na alvenaria;

$\bar{f}_{alv,f}$ = tensão de compressão admissível devido à flexão.

Com estes princípios chega-se a uma altura útil da peça e a armadura necessária para o equilíbrio do sistema. A obtenção da altura útil e da armadura necessária é feita através das equações 8 e 9, respectivamente:

$$d_b = \sqrt{\frac{2}{k_{x,b} + k_{z,b}} \times \frac{M}{b \times \bar{f}_{alv,f}}} \quad (\text{equação 8})$$

$$A_s = \frac{1}{f_s \times k_{z,b}} \times \frac{M}{d_b} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

d_b = altura útil;

M = momento fletor;

$k_{x,b}$ = parâmetro adimensional relacionado à altura útil;

$k_{z,b}$ = parâmetro adimensional relacionado à altura útil;

b = espessura do elemento;

A_s = área de armadura de tração.

3.6.2.2 Dimensionamento Subarmado

Neste caso a altura útil necessária é igual ou inferior a altura útil disponível da peça. No dimensionamento subarmado enquanto as tensões do aço se igualam, a tensão atuante é inferior à tensão admissível na alvenaria, conforme mostram as equações 10 e 11, respectivamente (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 103):

$$f_s = \bar{f}_{s,t} \quad (\text{equação 10})$$

$$f_{alv} < \bar{f}_{alv,f} \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

f_s = tensão atuante no aço;

$\bar{f}_{s,t}$ = tensão de tração admissível no aço;

f_{alv} = tensão atuante na alvenaria;

$\bar{f}_{alv,f}$ = tensão de compressão admissível devido à flexão.

Para a determinação da posição da linha neutra e da armadura deve ser feito um processo de iteração. Este processo pode ser feito através da planilha de cálculo, mostrada no quadro 4.

i	k_z	$k_s = \frac{1}{\bar{f}_{s,t} k_z}$	$A_s = k_s \frac{M}{d}$	$n\rho = n \frac{A_s}{b \times d}$	$k_x = -\rho n + \sqrt{(\rho n)^2 + n\rho n}$	$k_z = 1 - \frac{k_z}{3}$
1	$k_{z,b}$	→	→	→	→	→
2	→	→	→	→	→	→
...	→	→	→	→	→	→

Quadro 4 – Flexão de seções subarmadas
(baseado em RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 103)

3.6.2.3 Dimensionamento Superarmado

Quando a altura útil disponível não é suficiente, sendo inferior a altura necessária, é preciso superarmar a peça. Neste caso a tensão do aço é atingida muito tempo antes do que a tensão admissível na alvenaria (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 104):

$$f_s \leq \bar{f}_{s,t} \quad (\text{equação 12})$$

$$f_{alv} = \bar{f}_{alv,f} \quad (\text{equação 13})$$

Onde:

f_s = tensão atuante no aço;

$\bar{f}_{s,t}$ = tensão de tração admissível no aço;

f_{alv} = tensão atuante na alvenaria;

$\bar{f}_{alv,f}$ = tensão de compressão admissível devido à flexão.

Com estas hipóteses pode-se descobrir o $k_{x,b}$, que é um parâmetro adimensional entre a altura da parte comprimida da peça e a altura útil, e conseqüentemente o $k_{z,b}$:

$$k_{x,b}^2 - 3 \times k_{x,b} + \frac{6 \times M}{b \times d_b^2 \times \bar{f}_{alv,f}} = 0 \quad (\text{equação 14})$$

$$k_{z,b} = 1 - \frac{k_{x,b}}{3} \quad (\text{equação 15})$$

Onde:

$k_{x,b}$ = parâmetro adimensional relacionado à altura útil;

M = momento fletor;

b = espessura do elemento;

d_b = altura útil;

$k_{z,b}$ = parâmetro adimensional relacionado à altura útil.

Com isso pode-se descobrir a área de armadura necessária, através da taxa geométrica de armadura, e verificar as tensões no mesmo:

$$\rho = \frac{k_{x,b}^2}{2 \times n \times (1 - k_x)} \quad (\text{equação 16})$$

$$f_s = \frac{k_{x,b}^2}{A_s \times k_{z,b} \times d} \quad (\text{equação 17})$$

Onde:

ρ = taxa geométrica de armadura;

$k_{x,b}$ = parâmetro adimensional relacionado à altura útil;

n = relação entre o módulo de elasticidade do aço e da alvenaria;

f_s = tensão atuante no aço;

d = altura útil;

A_s = área de armadura de tração.

3.6.2.4 Dimensionamento com Armadura Dupla

O dimensionamento com armadura dupla é o mesmo caso do dimensionamento superarmado, no qual a altura útil é superior a altura disponível. Neste caso é calculado, pelo método balanceado, a armadura que irá absorver parte do momento fletor atuante (M_o) e o restante será absorvido por uma binário de forças em armaduras extras, uma tracionada e outra comprimida (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 104):

$$M_0 = \bar{f}_{alv,f} \times \frac{b \times d^2}{2} \times k_{x,b} \times k_{z,b} \quad (\text{equação 18})$$

$$A_{s1} = \frac{1}{\bar{f}_{s,t} \times k_{z,b}} \times \frac{M_0}{d} \quad (\text{equação 19})$$

$$\Delta M = f'_s \times A'_s \times (d - d') \quad (\text{equação 20})$$

$$A_{s2} = \frac{\Delta M}{\bar{f}_{s,t} \times (d - d')} \quad (\text{equação 21})$$

$$A'_s = \frac{\Delta M}{f_s \times (d - d')} \quad (\text{equação 22})$$

Onde:

M_0 = momento fletor;

$\bar{f}_{alv,f}$ = tensão de compressão admissível devido à flexão;

b = espessura do elemento;

d = altura útil;

$k_{x,b}$ = parâmetro adimensional relacionado à altura útil;

$k_{z,b}$ = parâmetro adimensional relacionado à altura útil;

A_{s1} = área de aço da armadura tracionada em relação ao M_0 ;

$\bar{f}_{s,t}$ = tensão de tração admissível no aço;

ΔM = parcela complementar do momento fletor;

f'_s = tensão atuante no aço da armadura comprimida;

A'_s = área de aço da armadura comprimida;

d' = altura útil da armadura comprimida;

A_{s2} = área de aço da armadura tracionada em relação ao ΔM ;

f_s = tensão atuante no aço.

A armadura tracionada será composta da soma das armaduras A_{s1} e A_{s2} , enquanto que a armadura comprimida será A'_s .

3.6.3 Cisalhamento

O cisalhamento em peças em alvenaria estrutural deve ser verificado, principalmente, em se tratando de vergas e paredes de contraventamento (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 106). A tensão de cisalhamento de peças em alvenaria deve ser prevista pela equação 23. Esta tensão atuante, tanto em peças armadas quanto não armadas, deve ser inferior a tensão admissível prevista por norma e mostrado nos quadros 1 e 2:

$$\tau_{alv} = \frac{V}{A} \quad (\text{equação 23})$$

Onde:

τ_{alv} = tensão atuante de cisalhamento;

V = força cortante;

A = área.

Em peças onde é verificado que há a necessidade de armadura, esta pode ser quantificada pela equação 24:

$$A_{sw,\alpha} = \frac{V \times s}{\bar{f}_{s,t} \times d_b} \quad (\text{equação 24})$$

Onde:

$A_{sw,\alpha}$ = armadura de cisalhamento;

V = força cortante;

s = espaçamento dos estribos;

$\bar{f}_{s,t}$ = tensão admissível do aço;

d_b = altura útil.

3.6.4 Flexão Composta

A flexão composta é uma associação de forças axiais e momentos fletores atuando juntos em uma peça (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 109). Nas paredes de um edifício, as forças axiais são as cargas verticais e os momentos fletores são ocasionados, em sua maioria, pelas forças horizontais ou excentricidades do carregamento vertical.

A primeira verificação a ser feita é se a peça em questão esta tendo tensões atuantes de tração superiores às admissíveis (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 109). Esta condição pode ser verificada pela equação 25:

$$f_{alv,f} - 0,75 \times f_{alv,c} \leq \bar{f}_{alv,t} \quad (\text{equação 25})$$

Onde:

$f_{alv,f}$ = tensão atuante na alvenaria devido à flexão;

$f_{alv,c}$ = tensão de compressão na alvenaria;

$\bar{f}_{alv,t}$ = tensão admissível à tração da alvenaria.

Quando esta relação é atendida não é necessária a utilização de armaduras para o combate às tensões de tração. Caso contrário é necessário a equação 26 para a determinação desta armadura (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 111):

$$f_{alv} = f_{alv,c} + f_{alv,f} \quad (\text{equação 26})$$

Onde:

f_{alv} = tensão atuante na alvenaria;

$f_{alv,c}$ = tensão de compressão na alvenaria;

$f_{alv,f}$ = tensão atuante na alvenaria devido à flexão.

Com o valor da tensão na alvenaria descobre-se a posição da linha neutra na peça (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 112).

$$x = \frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4 \times a_2 \times a_0}}{2 \times a_2} \quad (\text{equação 27})$$

$$a_2 = \frac{1}{6} \times f_{alv} \times b \quad (\text{equação 28})$$

$$a_1 = -\frac{1}{2} \times f_{alv} \times b \times d \quad (\text{equação 29})$$

$$a_0 = M + N \times \left(\frac{h}{2} - d' \right) \quad (\text{equação 30})$$

Onde:

x = posição da linha neutra;

b = espessura do elemento;

d = altura útil;

M = momento fletor;

N = força normal;

h = altura da parede;

d' = altura útil da armadura comprimida.

Com o posicionamento da linha neutra descobre-se a tensão de tração atuante na alvenaria (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 113):

$$f_s = n \times \frac{d - x}{x} \times f_{alv} \quad (\text{equação 31})$$

Onde:

f_s = tensão atuante no aço;

n = relação entre o módulo de elasticidade do aço e da alvenaria;

f_{alv} = tensão atuante na alvenaria.

A tensão atuante de tração deve ser inferior a tensão admissível do aço que é de 165 MPa. Caso não se confirme esta hipótese, deve-se reiniciar o processo a partir da equação 26 (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 113).

Com a tensão atuante menor que a admissível do aço pode-se dimensionar a armadura necessária pela equação 32 (RAMALHO; CORRÊA, 2003, p. 113):

$$A_s = \frac{1}{f_s} \times \left(\frac{b \times x \times f_{alv}}{2} - N \right) \quad (\text{equação 32})$$

Onde:

A_s = área de armadura de tração;

f_s = tensão atuante no aço;

b = espessura do elemento;

x = posição da linha neutra;

f_{alv} = tensão atuante na alvenaria;

N = força normal.

4 FORMA GEOMÉTRICA DAS EDIFICAÇÕES

A opção pela utilização do sistema construtivo em alvenaria estrutural implica em certas restrições que devem ser consideradas pelo projetista. Aspectos como volumetria, simetria e dimensão máxima dos vãos devem ser estudados, levando-se em conta qual o tipo de material empregado no empreendimento e suas características (DUARTE, 1999, p. 29). Parte-se do princípio que as paredes das edificações devem sempre estar apoiadas nas paredes dos andares inferiores, assim, evita-se a utilização de vigas, solução que não se encaixa no perfil do sistema construtivo. Isso não quer dizer que os pavimentos são inflexíveis arquitetonicamente, podem ser retiradas paredes dos pavimentos desde que estes não desempenham funções estruturais e sirvam somente como parte da vedação do edifício (RAUBER, 2005, p. 38).

A forma da edificação é, muitas vezes, definida pelo seu tipo de ocupação. O mesmo ocorre devido à necessidade da distribuição interna dos ambientes, definidos pelo projetista. Desta forma o tipo de ocupação, assim como a planta arquitetônica, irá definir as distribuições das paredes portantes e de vedação da edificação (RAUBER, 2005, p. 39). Esta distribuição das paredes, ao longo de todo o prédio, irá exercer influência direta na robustez do mesmo, assim como na capacidade do edifício de resistir a esforços horizontais, oriundos da ação do vento e do desaprumo. Deve-se ter em mente a diferença entre as paredes de vedação, que servem apenas para dividir os espaços, e as paredes portante, que além de executarem a função de divisórias, são responsáveis por resistirem às cargas verticais, envelopando a edificação (DUARTE, 1999, p. 31). Na figura 12 observa-se o efeito da forma e altura em relação à robustez do prédio.

A figura 12 mostra que os prédios podem ser sucintamente classificados em quatro categorias. A primeira é as edificações térreas, onde há um predomínio externo da cobertura. A segunda, classificada como edificações de baixa altura, corresponde a edifícios de quatro a cinco pavimentos. Este limite deve-se ao fato da opção de inclusão, ou não, de elevadores. A terceira categoria são os edifícios de altura média a alta, de cinco a dez pavimentos. Esta classificação é devida ao limite da alvenaria estrutural não armada. A última categoria sugere prédios altos, com mais de dez pavimentos. Nestas edificações os custos aumentam muito por causa da utilização de armaduras para o combate aos esforços de tração (DUARTE, 1999, p. 32).

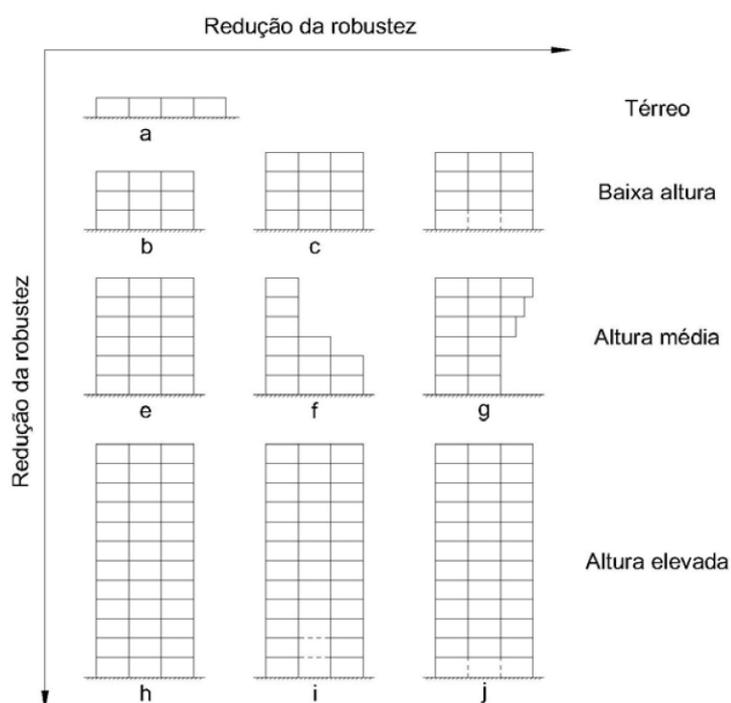


Figura 12 – Efeito das elevações na robustez do prédio (DRYSDALE et al., 1994¹ apud DUARTE, 1999, p. 31)

As edificações em alvenaria estrutural devem preservar proporções de altura, largura e comprimento razoáveis que proporcionem robustez ao prédio. Não são aconselhados os edifícios excessivamente compridos e pouco largos, assim como os edifícios muito esbeltos (GALLEGOS, 1988). A figura 13 indica os parâmetros ideais e toleráveis visando o aumento de robustez da edificação.

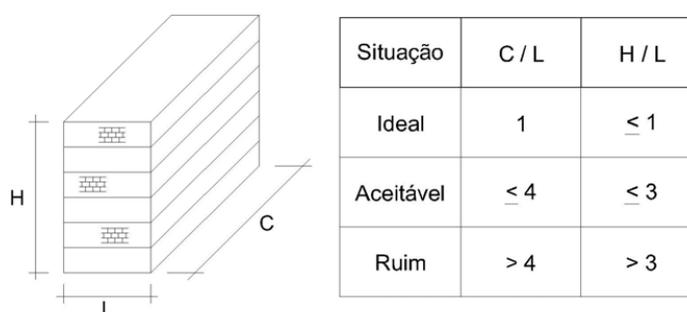


Figura 13 – Relações recomendadas entre as dimensões de uma edificação (CAVALHEIROS, 1995² apud RAUBER, 2005, p.40)

¹ DRYSDALE et al. **Masonry Structures: behaviour and design**. New Jersey, Prentice-Hall, 1994.

² CAVALHEIRO, O. P. **Fundamentos de alvenaria estrutural**. Santa Maria: UFSM, 1995. Não paginada. Apostila

Tanto a forma da edificação, quanto a do terreno onde este prédio será construído, a posição do mesmo perante os prédios vizinhos, as rotas internas de comunicação e as exigências de iluminação natural, são fatores que influem na forma geral e planta baixa de uma edificação. Os custos de uma obra deste tipo assim como a resistência da edificação podem ser analisados através de um parâmetro importante que fornece uma idéia do custo da parede com a área útil a ser construída (DUARTE, 1999, p. 32). Na figura 14 pode-se ver esta redução de eficiência tomando-se como base a forma circular.

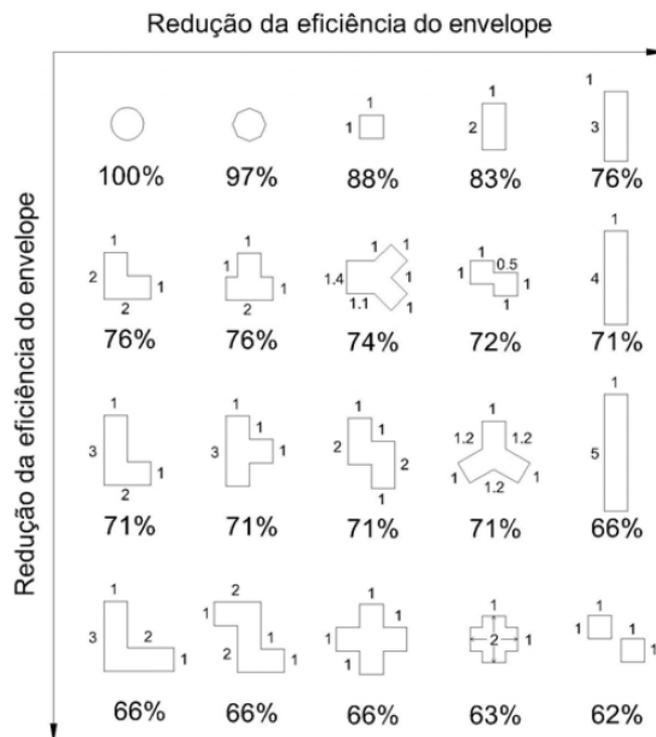


Figura 14 – Eficiência do envelope externo do prédio tomando-se o círculo como referência (DRYSDALE et al., 1994¹ apud DUARTE, 1999, p. 32)

A alvenaria estrutural possui uma resistência muito grande a esforços de compressão, porém possui uma pequena ou quase nula resistência à tração. Visando isso o projetista deve ter um cuidado especial na hora de escolher a forma da edificação, afim de evitar ao máximo os esforços de tração nas paredes de alvenaria. Os carregamentos horizontais além de provocarem flexões nas paredes podem ocasionar esforços de torção no edifício. A utilização de formas simétricas com áreas equivalentes pode reduzir estes esforços.

¹ DRYSDALE et al. **Masonry Structures: behaviour and design**. New Jersey, Prentice-Hall, 1994.

A figura 15 apresenta o efeito da forma da edificação, em relação aos esforços horizontais, na resistência à torção do prédio, tomando como referência uma edificação quadrada. Nesta figura foi considerado que todas as formas possuem o mesmo comprimento de parede externa e que existem juntas de movimentação em todos os encontros de paredes (DUARTE, 1999, p. 33).

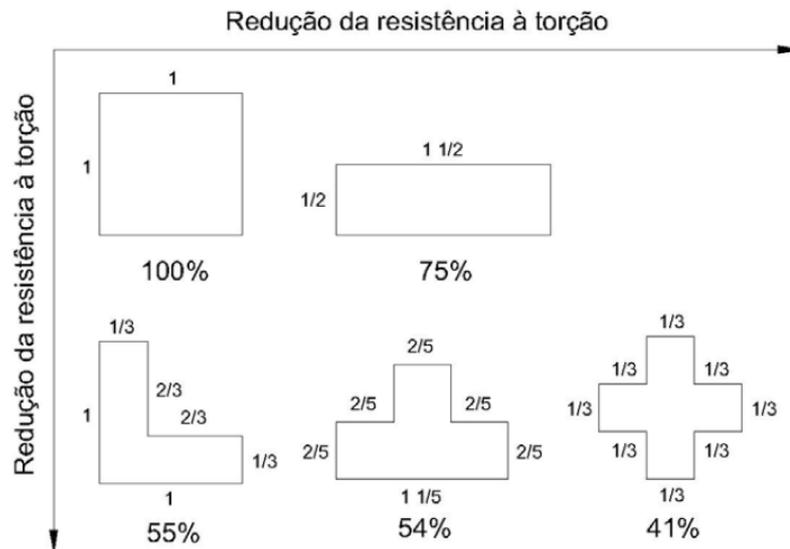


Figura 15 – Efeito da forma do prédio na resistência à torção devido à atuação de forças horizontais (DRYSDALE et al., 1994¹ apud DUARTE, 1999, p. 33)

Outra estimativa que se deve ter é em relação ao comprimento de paredes resistente nas duas direções da edificação (longitudinal e transversal). Uma forma de medir o comprimento de paredes resistentes em cada direção é multiplicar 4,2% da área total construída por pavimento pelo número de pavimentos. Este valor irá informar quantos metros de parede portante deve-se ter em cada direção da edificação para se ter um edifício estruturalmente otimizado. Esta recomendação procura manter uma uniformidade de cargas horizontais nas paredes (GALLEGOS, 1988). Em relação as parede de contraventamento também pode-se adotar um parâmetro para que o mesmo possa ter um ótimo desempenho estrutural. Esta relação esta diretamente ligada à altura da parede com o seu comprimento (RAUBER, 2005, p. 44). Na figura 16 mostra-se as relações ideais, aceitáveis e ruins para as paredes de contraventamento.

¹ DRYSDALE et al. **Masonry Structures: behaviour and design**. New Jersey, Prentice-Hall, 1994.

Embora estes parâmetros sejam difíceis de serem atendidos, todos ao mesmo tempo, na prática, os mesmos começam a indicar um caminho na otimização do projeto estrutural de edificação em alvenaria estrutural.

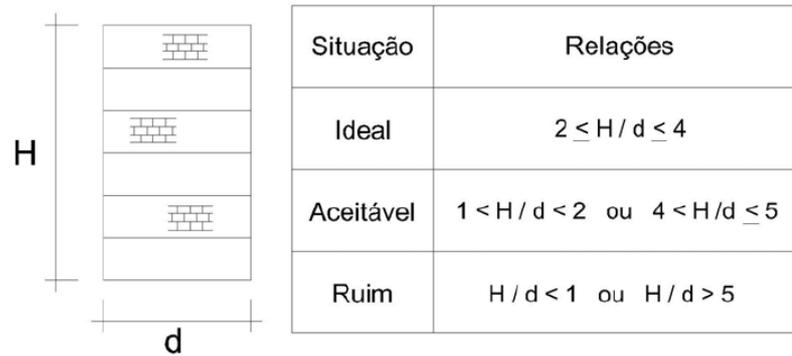


Figura 16 – Relação entre altura e comprimento de paredes portante (CAVALHEIRO, 1995¹ apud RAUBER, 2005, p.44)

Para uma maior rigidez e estabilidade da edificação, o projetista deve considerar junto às paredes de contraventamento abas perpendiculares as mesmas, fazendo com que cada parede da estrutura trabalhe como enrijecedor da outra (ROMAN et al., 1999, p. 18). Na figura 17 pode-se ver as abas enrijecedoras na forma de L, C, T e duplo T conferindo uma maior estabilidade à estrutura.

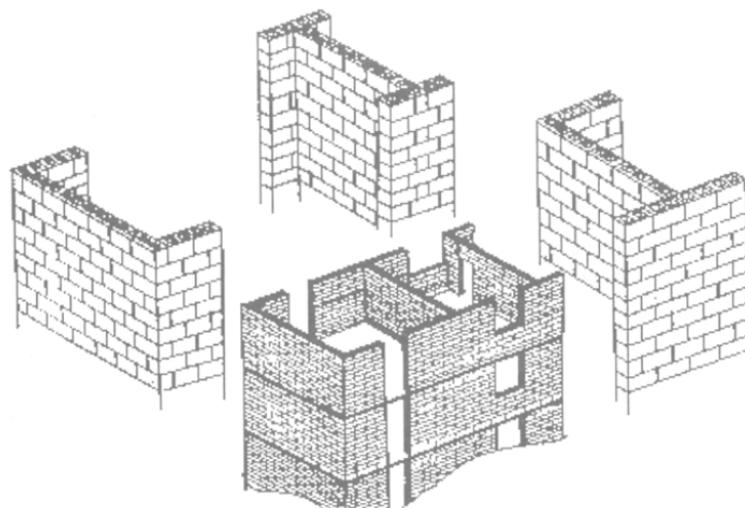


Figura 17 – Arranjos de paredes que conferem maior estabilidade à estrutura (ROMAN et al., 1999, p. 19)

¹ CAVALHEIRO, O. P. **Fundamentos de alvenaria estrutural**. Santa Maria: UFSM, 1995. Não paginada. Apostila

Com a forma da edificação, os comprimentos de paredes e suas respectivas abas previamente definidas, pode-se verificar se o centro de massa (CM), que nada mais é do que o centro de massa do conjunto de lajes e paredes de cada pavimento, coincide com o centro de torção (CT), que vem a ser o centro de rigidez somente das paredes de contraventamento. Se o centro de massa coincidir com o centro de torção, isso significa que o prédio, devido aos esforços horizontais, irá apenas sofrer esforços de translação nas paredes e lajes, e o sistema estrutural será considerado simétrico. Caso contrário o prédio sofrerá esforços de torção, e será considerado assimétrico (DUARTE, 1999, p. 33). Na figura 18 pode-se ver a diferença entre um pavimento simétrico de um assimétrico.

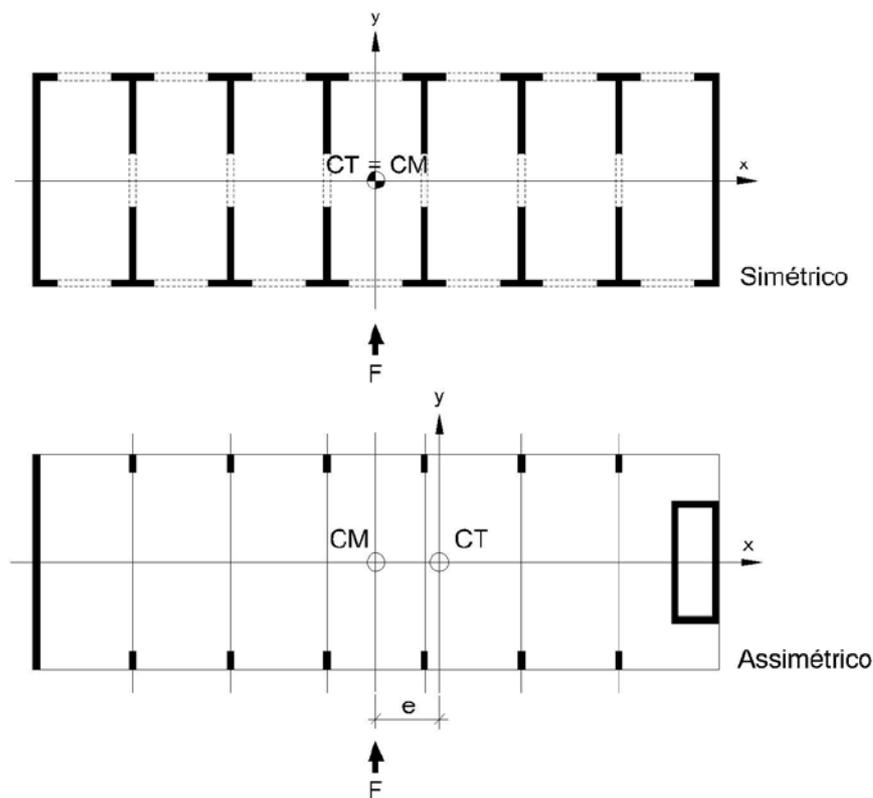


Figura 18 – Arranjo estrutural simétrico e assimétrico (DUARTE, 1999, p. 33)

Assim, torna-se necessário que o projetista distribua o mais simétrico possível as paredes de contraventamento na edificação, a fim de tornar os pavimentos o mais simétricos possíveis evitando tensões de cisalhamento nas paredes devido as torções (RAUBER, 2005, p. 47). Na figura 19 mostra-se o efeito do arranjo de paredes na resistência à torção da edificação.

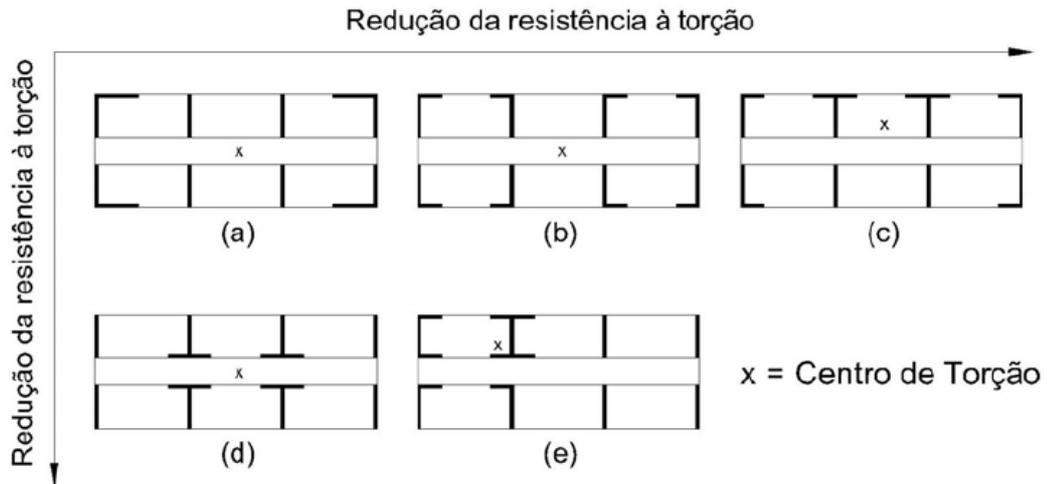


Figura 19 – Efeito do arranjo de paredes resistentes à torção do prédio
(DRYSDALE et al., 1994¹ apud DUARTE, 1999, p. 34)

Conclui-se assim que um arranjo de paredes simétrico distribuídos na periferia da edificação fornece uma resistência à torção maior, pois, o mesmo possui o seu centro de massa muito próximo ao centro de rigidez da estrutura (DUARTE, 1999, p. 34).

¹ DRYSDALE et al. **Masonry Structures**: behaviour and design. New Jersey, Prentice-Hall, 1994.

5 ANÁLISE ESTRUTURAL

Neste capítulo será apresentada análises de edificações em alvenaria estrutural com o intuito de mostrar qual é a influência que a forma arquitetônica da edificação tem em relação a estrutura portante do mesmo. Esta análise será feita com a ajuda do software estrutural Cad/Alvest da TQS Informática Ltda.

5.1 DEFINIÇÃO DAS FORMAS GEOMÉTRICAS

Para a criação dos edifícios que comporão este trabalho foi desenvolvido um apartamento base e a partir da justaposição de quatro unidades do mesmo, foram originadas as três plantas baixas dos edifícios, em alvenaria estrutural, que aqui serão analisados. O apartamento base foi elaborado com aproximadamente 70 m², distribuídos em dois quartos, uma sala de estar, um hall de entrada, um banheiro e uma cozinha. Na figura 20 é apresentada a planta baixa do apartamento base.

Com este apartamento foram criadas as três edificação que serão aqui chamadas de edifícios A, B e C. Todos os três possuem quatro apartamentos base por pavimento e um núcleo de escadas. Como as edificações foram geradas a partir de um apartamento tipo e tem aproximadamente a mesma área construída, foram ignoradas possíveis anomalias nas plantas baixas, como edificações sem corredores internos, apartamentos com portas localizadas nas fachadas dos prédios entre outras.

O edifício A possui os apartamentos base rotacionados um em relação ao outro, dando origem a uma edificação que tem a planta baixa quadrada como a sua forma geométrica. Na figura 21 é apresentada a planta baixa do pavimento tipo, do edifício A.

Esta edificação possui uma área de aproximadamente 287 m² com comprimento e largura iguais e medindo 16,94 m.

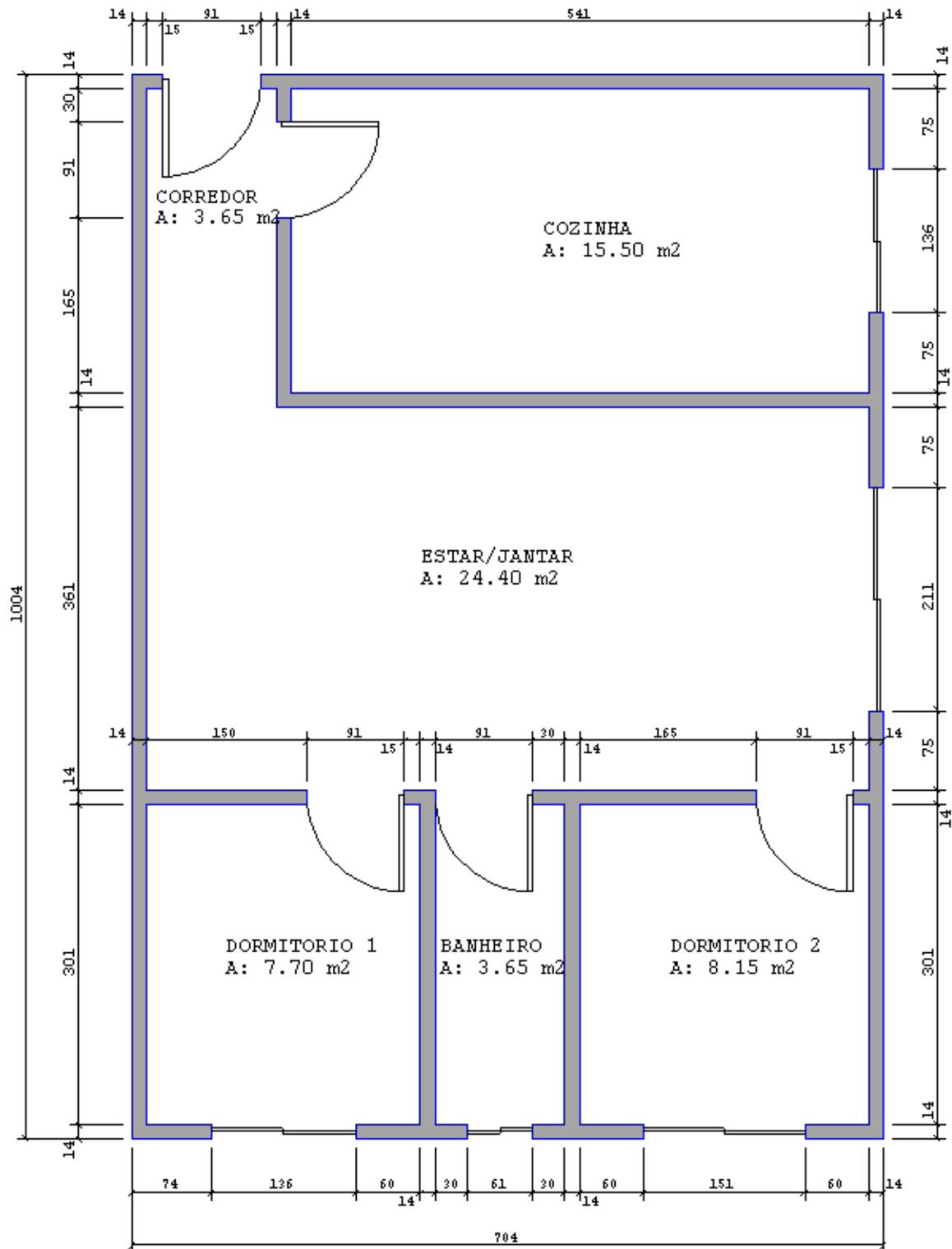


Figura 20 – Planta baixo do apartamento base

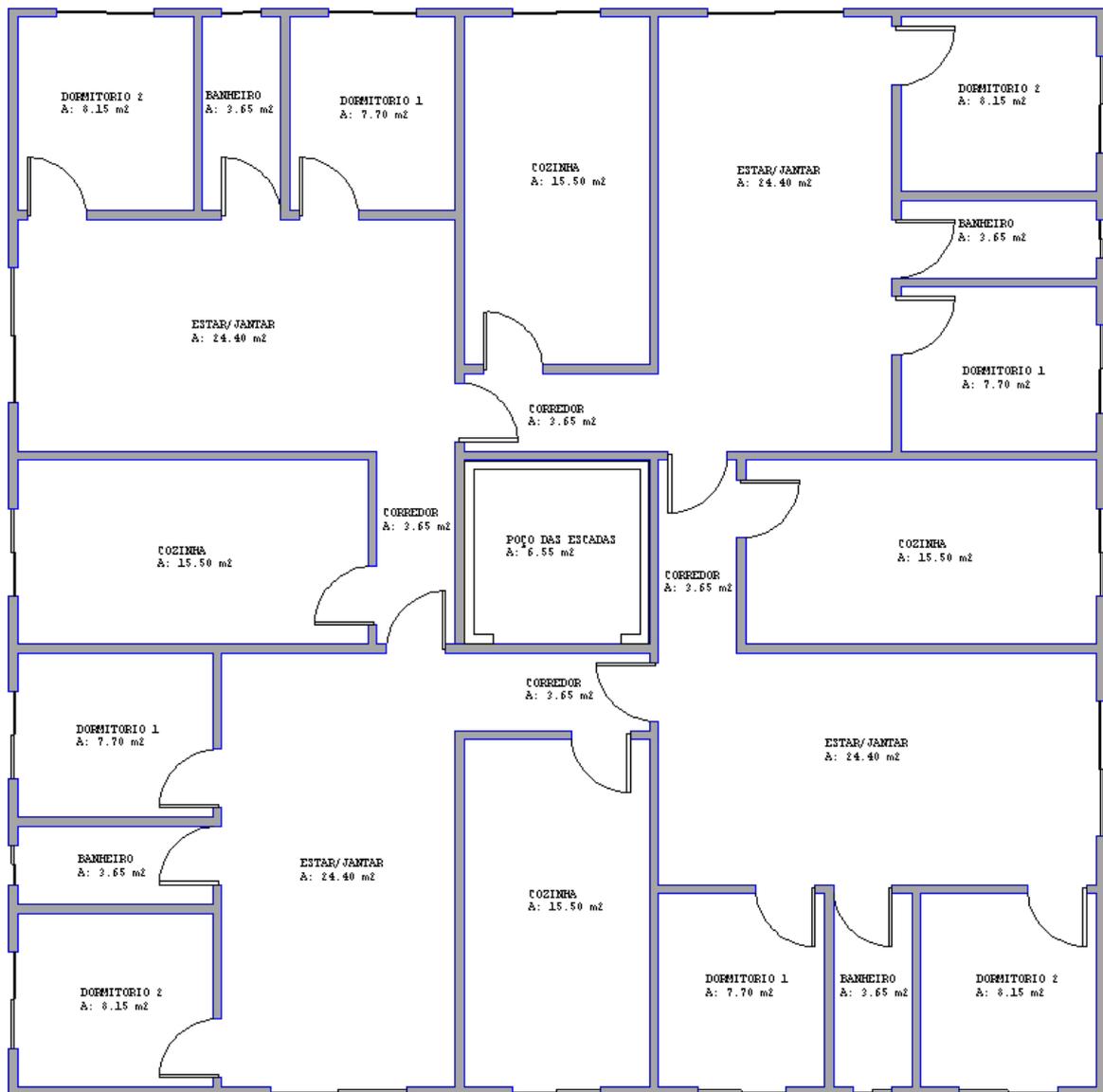


Figura 21 – Planta baixa do edifício A

O edifício B possui os mesmos quarto apartamentos base, porém, dispostos de forma simétrica, sendo sua forma em planta um retângulo com relação de lados de 1,65. A figura 22 mostra esta distribuição.

Esta edificação possui uma área de aproximadamente 320 m² com comprimento de 22,94 m e largura medindo 13,94 m.

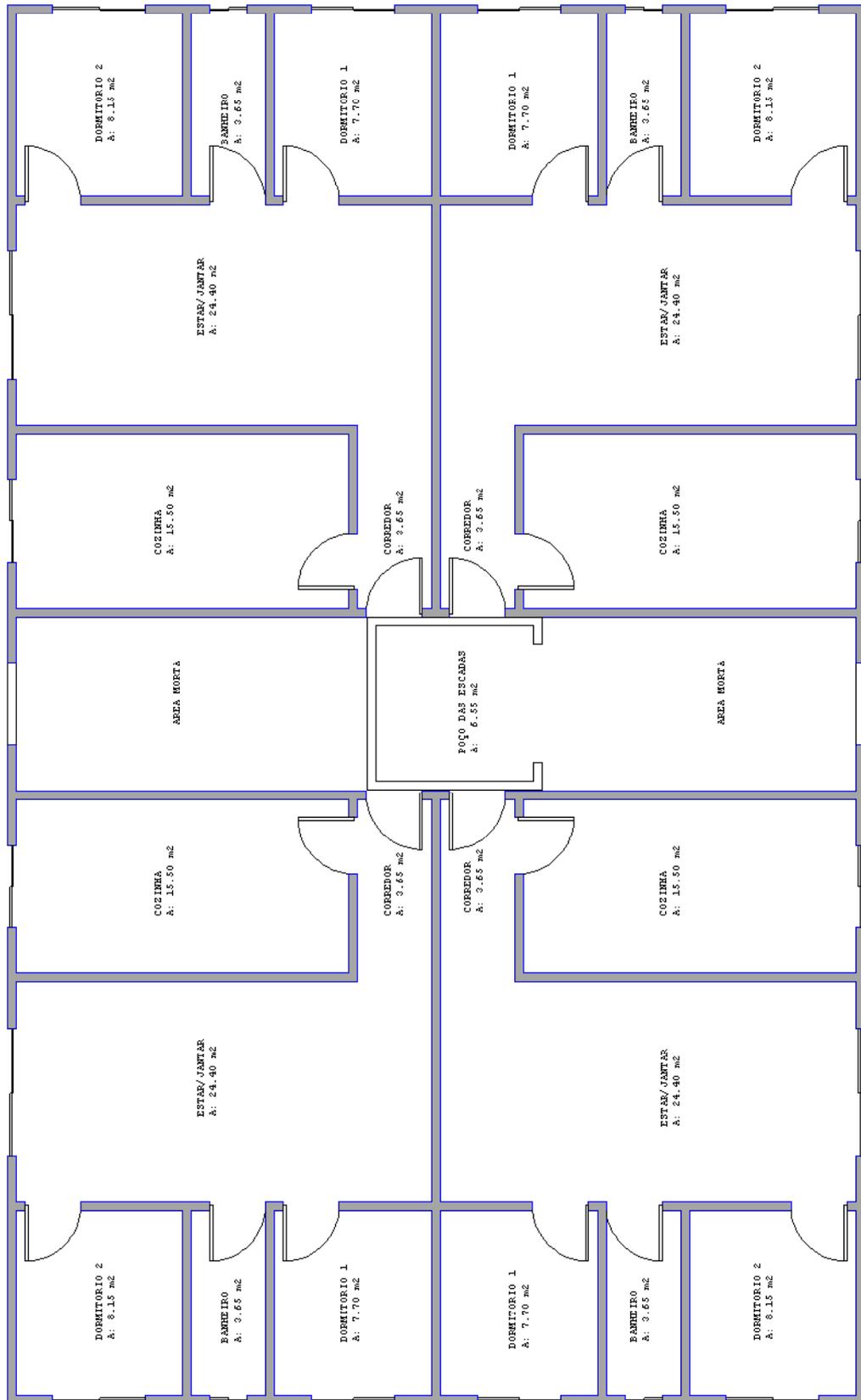


Figura 22 – Planta baixa do edifício B

O edifício C foi constituído de quatro apartamentos base dispostos lado a lado formando assim uma forma geométrica em planta baixa retangular. Esta edificação retangular possui um de seus lados 3 vezes maior que o outro, diferenciando-se assim do edifício B. Na figura 23 é mostrada a planta baixa do edifício C

Esta edificação possui uma área de aproximadamente 309 m² com comprimento de 30,74 m e largura medindo 10,04 m.

Estes três edifícios A, B e C serão analisados com três alturas diferentes, e comparados entre si, para mostrar qual é a influência que a forma geométrica do edifício exerce na estrutura. A figura 24 ilustra um corte esquemático dos edifícios para as três alturas.

Os andares dos edifícios foram compostos de pavimentos tipos, uma cobertura e um piso de reservatório. A geometria da cobertura e dos pavimentos tipo são as mesmas, a diferença se dá no carregamento. O piso do reservatório tem a mesma geometria para todas as edificações, variando somente a carga conforme o número de pavimentos. Este foi considerado em cima do poço das escadas em todos os prédios. O pé-direito de todas as edificações é o mesmo e tem 2,7 m de piso a piso.

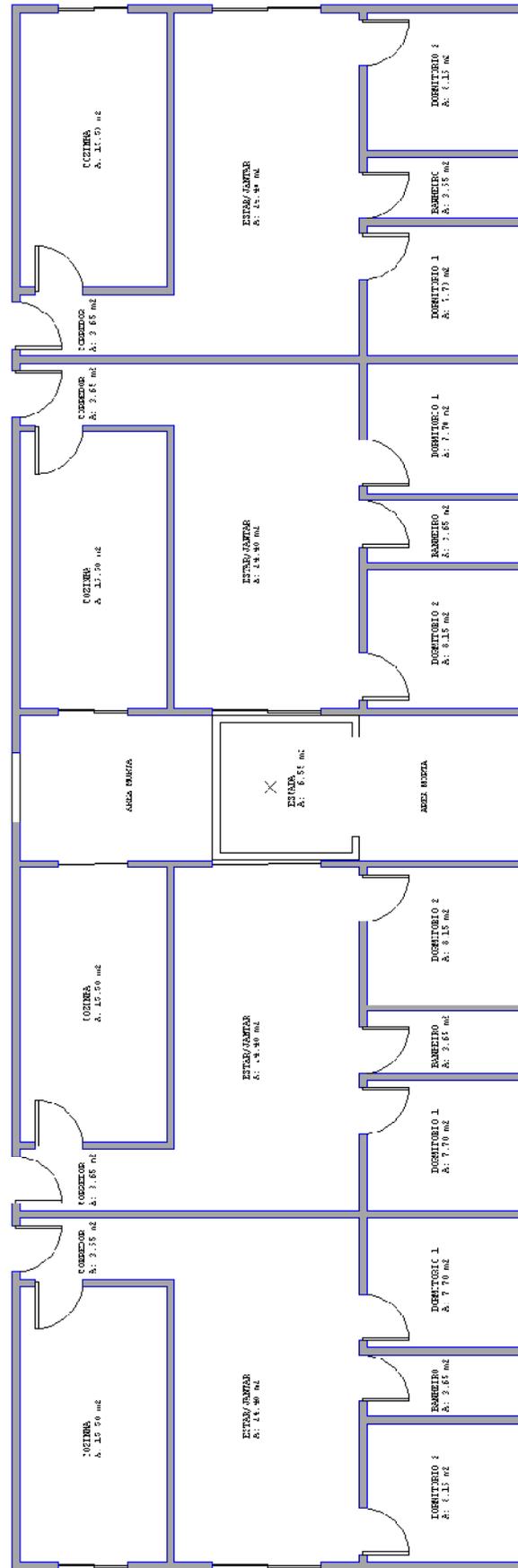


Figura 23 – Planta baixa do edifício C

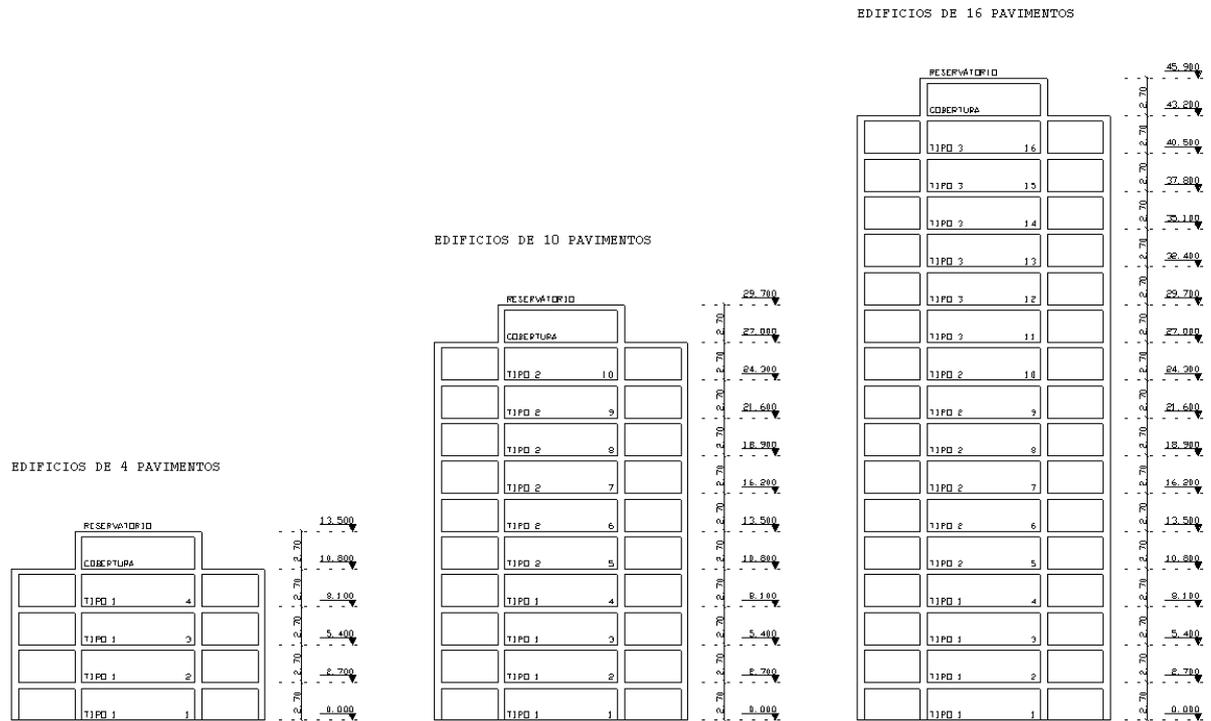


Figura 24 – Corte esquemático dos edifícios

5.2 DEFINIÇÕES DOS EDIFÍCIOS

Os edifícios deste trabalho foram constituídos de blocos cerâmicos da Pauluzzi. Tanto nas paredes externas, quanto na internas dos pavimentos foi utilizado blocos com dimensões modulares de 15 cm. Não foi considerado nenhum tipo de grauteamento dos blocos nas edificações, sejam estes construtivos ou estruturais, a não ser nas vergas e contra-vergas.

Para as aberturas dos apartamentos foram criados portas e janelas com dimensões modulares com o propósito de ser evitado o uso de blocos compensadores especiais nos quais poderiam distorcer alguns resultados. No quadro 5 é possível ver as dimensões das portas e janelas dos prédios assim como suas vergas e contra-vergas.

	Compr. (cm)	Largura (cm)	Altura (cm)	Verga e Contra-Verga		Cota Inicial (cm)
				Compr. (cm)	Largura (cm)	
Portas*	89	15	200	149	19	0
Janelas Cozinha e Dorm. 1	134	15	141	194	19	100
Janelas Sala	209	15	141	269	19	100
Janelas Banheiro	59	15	81	119	19	160
Janelas Dormitório 2	149	15	141	209	19	100

* Não possuem contra-verga

Quadro 5 – Geometria das portas e janelas das edificações

Para a análise destes edifícios foram consideradas três resistências de blocos cerâmicos. Os edifícios que possuem apenas quatro pavimentos foram modulados unicamente com blocos de 10 MPa. Os edifícios com dez pavimentos foram idealizados com blocos de 15 MPa do térreo ao quarto pavimento e 10 MPa nos demais. As edificações com dezesseis pavimentos foram formadas com blocos de 18 MPa nos quatro primeiros andares, com 15 MPa nos 6 pavimentos seguintes e com 10 MPa nos demais. O quadro 6 ilustra mais claramente a composição de blocos ao longo das edificações.

Ed. 4 Pavimentos			Ed. 10 Pavimentos			Ed. 16 Pavimentos		
Tipo	Pavimentos	Bloco	Tipo	Pavimentos	Bloco	Tipo	Pavimentos	Bloco
	Reservatório	10 MPa		Reservatório	10 MPa		Reservatório	10 MPa
Tipo 1	4 Pav	10 MPa	Tipo 2	10 Pav	10 MPa	Tipo 3	16 Pav	10 MPa
	3 Pav	10 MPa		9 Pav	10 MPa		15 Pav	10 MPa
	2 Pav	10 MPa		8 Pav	10 MPa		14 Pav	10 MPa
	1 Pav	10 MPa		7 Pav	10 MPa		13 Pav	10 MPa
		6 Pav		10 MPa	12 Pav		10 MPa	
		5 Pav	10 MPa	11 Pav	10 MPa			
			Tipo 1	4 Pav	15 MPa	Tipo 2	10 Pav	15 MPa
				3 Pav	15 MPa		9 Pav	15 MPa
				2 Pav	15 MPa		8 Pav	15 MPa
				1 Pav	15 MPa		7 Pav	15 MPa
					6 Pav		15 MPa	
					5 Pav		15 MPa	
						Tipo 1	4 Pav	18 MPa
							3 Pav	18 MPa
							2 Pav	18 MPa
							1 Pav	18 MPa

Quadro 6 – Resistência dos blocos ao longo das edificações

5.3 CARREGAMENTOS

5.3.1 Força Horizontal

Como já foi mencionado antes, a alvenaria estrutural é um excelente material resistente à compressão, porém, um péssimo elemento para resistir esforços de tração. O principal carregamento que gera esforços de tração na alvenaria é o vento e o desaprumo.

Para os edifícios aqui analisados foi considerado um carregamento horizontal, de vento, de baixa turbulência. Esta escolha permite gerar uma pressão maior nas edificações, definindo assim uma situação de carregamento mais desfavorável. O programa de cálculo de alvenaria estrutural Cad/Alvest, utilizado neste trabalho para analisar os edifícios, considera a carga de vento de acordo com a NBR 6123 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1988) e requer as seguintes informações:

- a) velocidade básica do vento (V_0);
- b) fator do terreno (S_1);
- c) categoria de rugosidade (S_2);
- d) classe da edificação (S_2);
- e) fator estatístico (S_3);
- f) coeficiente de arrasto para as quatro direções principais de incidência do vento ($0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ e 270°).

Estes dados são introduzidos no contexto dos edifícios através da janela gráfica da figura 25.

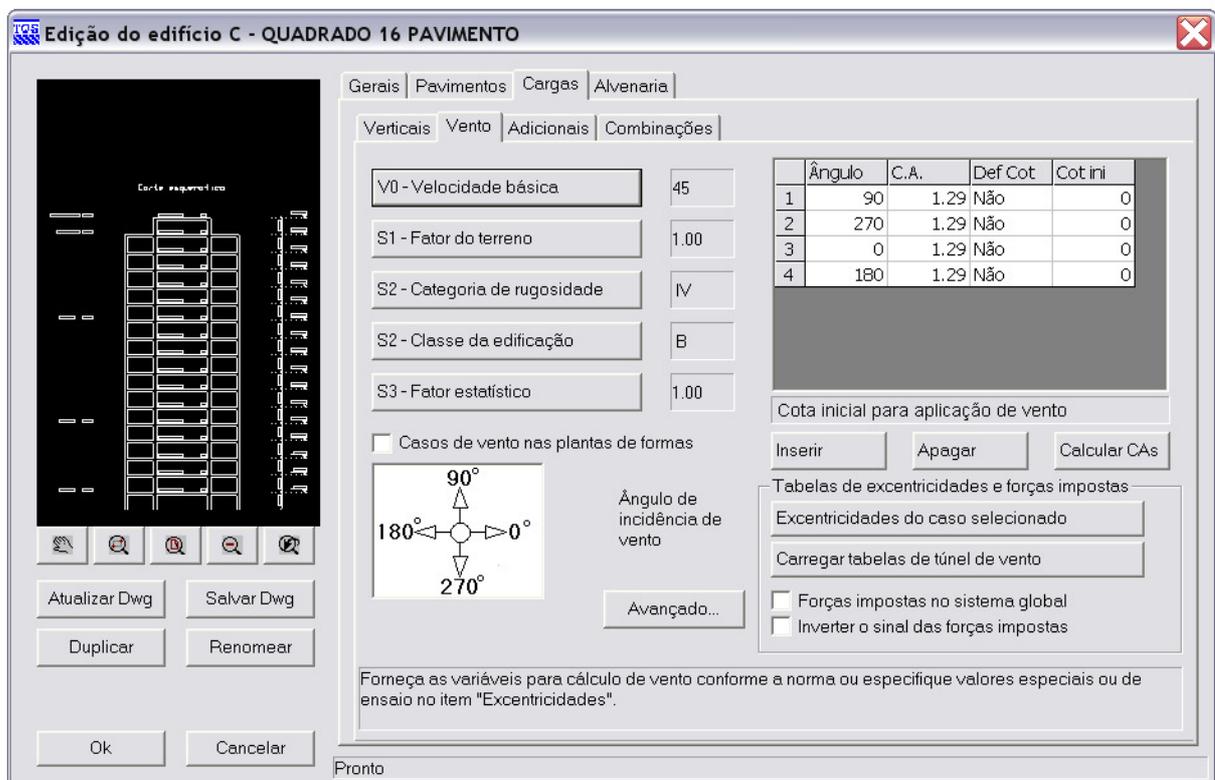


Figura 25 – Janela gráfica de inserção de dados referentes à ação do vento

5.3.2 Forças Verticais

O carregamento vertical pode ser classificado em dois grupos: carregamentos permanentes e carregamentos acidentais. Os carregamentos permanentes são aqueles que irão permanecer permanentemente na estrutura, tais como peso próprio dos materiais, paredes, lajes, vergas, contra-vergas entre outras. Já os carregamentos acidentais são aqueles que atuam com frequência na estrutura. O quadro 7 mostra as cargas usadas nas edificações.

	Bloco de 10 Mpa	145 kgf/m ²
	Bloco de 15 Mpa	162 kgf/m ²
	Bloco de 18 Mpa	215 kgf/m ²
	Reboco	30 kgf/m ²
	Vergas e Contra-Vergas	50 kgf/m
	Laje de 10 cm	2.500 kgf/m ³
Tipo	Carga Permanente	100 kgf/m ²
	Carga Acidental	150 kgf/m ²
Cobertura	Carga Permanente	50 kgf/m ²
	Carga Acidental	50 kgf/m ²
Reservatório	Carga Acidental 4 Pavimentos	12.800 kgf
	Carga Acidental 10 Pavimentos	32.000 kgf
	Carga Acidental 10 Pavimentos	51.200 kgf

OBS: Nas áreas mortas dos edifícios não foi considerado cargas permanentes nem acidentais, somente o peso da laje

Quadro 7– Cargas verticais atuantes nas edificações

O cálculo da carga de reservatório foi feito levando em conta que cada habitante utilizaria 200 litros de água por dia. Cada apartamento foi considerado como se estivessem, ali morando, quatro pessoas. O volume de água no reservatório foi então estipulado como sendo o volume de consumo diário de todos os habitantes do edifício.

5.4 MÉTODO DE CÁLCULO

Depois de definidas as dimensões e as cargas, foi feito uma processamento global das edificações. Este processamento emitiu relatórios de cálculo da estrutura nos quais este trabalho se baseou. Para cada edifício são informadas ao programa as principais características para o cálculo da estrutura. Na figura 26 podemos ver esta janela.

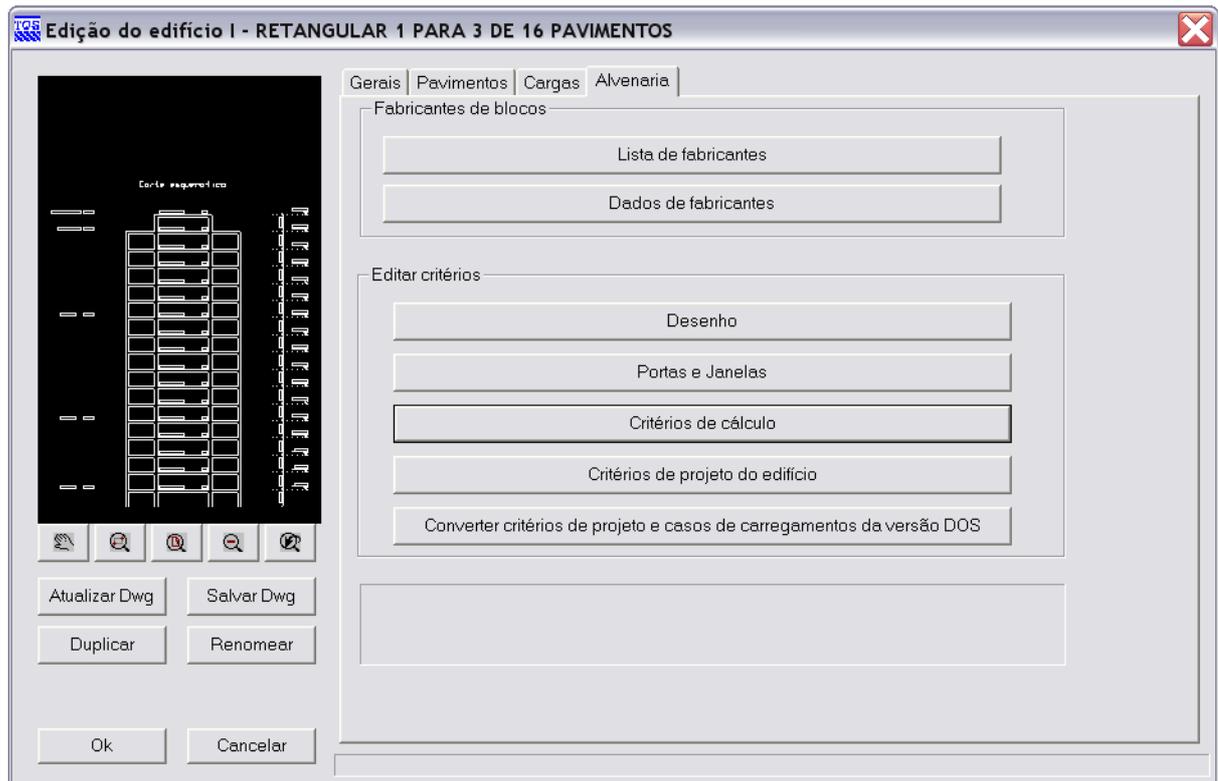


Figura 26 – Entrada de dados de cálculo

Nesta janela selecionando **Critérios de cálculo**, uma segunda janela irá se abrir com sub pastas onde deverá ser escolhido **n** fatores de cálculo. Na figura 27 é mostrada a primeira pasta que trata de relações de áreas.

CAD/Alvest - Critérios de Cálculo

Área Líq./Brutas | Coeficientes | Cargas Verticais | Critérios Gerais | Tabela de Relações

Características geométricas (área, inércia)
 Recomendamos o uso de áreas líquidas, para que os cálculos se tornem mais precisos. Quando for escolhida a opção "Brutas (simplificado)", ainda será necessário editar mais os dois fatores abaixo, denominados fatores de desempenho. Estes fatores informam ao programa qual é a área efetiva do bloco para dimensionamento.

Líquidas Brutas (simplificado) Brutas (equivalentes)

Área Líquida/Área Bruta: 0.46237 ?

Fatores de desempenho

Fator de desempenho / compressão: 0.46237 ?

Fator de desempenho / flexão: 0.46237 ?

Material da Alvenaria

Material: Cerâmico Vazado

Elasticidade (Módulos de deformação)

Concreto Vazado : E = 400 fp

Concreto Maciço : E = 700 p

Cerâmico Vazado : E = 600 fp

Cerâmico Maciço : E = 300 fp

Outro (Bloco/Tijolo: E = 250 fp

Elasticidade transversal: G = 0.5 E (transversal)

Coeficiente de não-linearidade física: 0.9

Ajuda OK Cancelar

C:\TQS\I - RETANGULAR 1 PARA 3 DE 16 PAVIMENTOS\INSTALV.DAT - Edifício

Figura 27 – Janela de critérios de áreas

Nesta janela é definido se a edificação será calculada através da área líquida dos blocos, ou pela área bruta dos mesmos. Caso a área bruta seja a escolhida é necessário editar mais dois critérios subsequentes, que são os fatores de desempenho.

O programa de cálculo usado neste trabalho permite a utilização de três blocos de famílias diferentes para cada edificação, porém apenas um destes blocos será considerado na rotina de cálculo, sendo os outros dois, apenas selecionados para a emissão dos desenhos em planta baixa e elevações. Isso porque, em geral, o programa utiliza os dados da área líquida dos blocos para calcular os edifícios em função da geometria de um único bloco. Como as edificações aqui tratadas possuem resistências de blocos diferentes conforme a altura da edificação, foi usado um artifício para driblar a rotina do programa. Ao invés de selecionar as áreas líquidas dos blocos, evitando assim que o software calcule os edifícios segundo a geometria de apenas um bloco único, foi selecionado o método de cálculo por áreas brutas.

Assim pode-se informar por pavimento uma relação diferente de áreas e inércias dos blocos, não interessando o bloco inserido graficamente.

Nesta mesma janela foi inserido o tipo de bloco usado e conseqüentemente seus módulos de deformação, tanto o longitudinal quanto o transversal. Na pasta subsequente, que é mostrada na figura 28, pode-se ver a segunda aba dos critérios de cálculo.

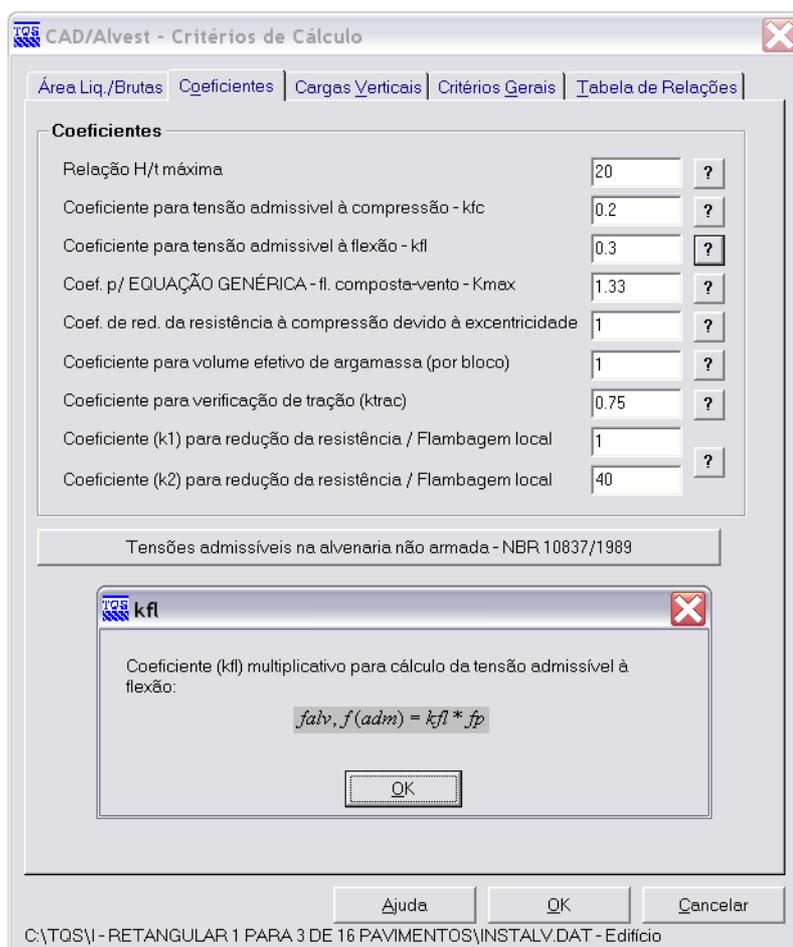


Figura 28 – Janela de critérios de coeficientes

Aqui são definidos os coeficientes de cálculo que serão usados para a verificação da estrutura do edifício. Cada ponto de interrogação abre uma sub-janela explicando qual é a origem daquele coeficiente e para que este será usado. Neste trabalho foram definidos os coeficientes conforme a NBR 10837 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

A subpasta seguinte, ilustrada na figura 29, mostra os critérios relacionados às cargas verticais e peso próprio das estruturas que compõem esta edificação.

Figura 29 - Janela de critérios de cargas verticais

Esta janela irá definir a propagação das cargas verticais assim como os pesos específicos dos materiais que compõem a estrutura, como vergas, contra-vergas, alvenarias e graute. Para este trabalho, seguindo a recomendação da NBR 10837 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), foi considerado propagação de cargas verticais admitindo um ângulo de 45°. Os pesos específicos de vergas, contra-vergas e alvenarias foram inseridas conforme o quadro 7, pavimento por pavimento, pois há uma diferença do tipo de bloco usado em alguns andares e, conseqüentemente, o peso da alvenaria também muda.

A próxima aba, ilustrada na figura 30, é a definição de critérios gerais, principalmente na emissão dos relatórios.

CAD/Alvest - Critérios de Cálculo

Área Líq./Brutas | Coeficientes | Cargas Verticais | **Critérios Gerais** | Tabela de Relações

Espessura das paredes para cálculo (cm) ?

Comprimento máximo para janela que pode ser desprezada (englobada) em cercas de inércias (cm)

Tensão admissível à tração (tf/m²) - Falv,t (adm) mínima ?

Tensão admissível ao cisalhamento (tf/m²) - tau (adm) mínima ?

Redutor de área para cisalhamento - kcis ?

Resistência ao cisalhamento proporcional ao grauteamento

Tensão admissível de flexo-compressão (tf/m²) - Falv,f (máx) ?

Tensão admissível de compressão (tf/m²) - Falv,c (máx) ?

Resistência de prisma (fp) (tf/m²) - fp (máx) ?

Avisos:

Emite avisos de junta-prumo

Emite avisos de estabilidade / flambagem local

Dist máx entre enrijecedores p/ emitir aviso (cruzamento, graute) (cm) ?

Emite avisos de excesso de flanges / vento nas subestruturas

Dist máx para flanges enrijecedoras / vento para emitir aviso * t ?

Tensões admissíveis na alvenaria não armada - NBR 10837/1989

Ajuda OK Cancelar

C:\TQS\I - RETANGULAR 1 PARA 3 DE 16 PAVIMENTOS\INSTALV.DAT - Edifício

Figura 30 – Janela de critérios gerais

Esta janela informa quais são os limites das tensões nos edifícios e quais avisos devem ser informados ao projetista. Para este trabalho foi solicitado ao programa que informasse qualquer tensão de tração e desprezasse as tensões de cisalhamento, vistos que estas últimas não foram consideradas na análise dos resultados.

A última sub-pasta dos critérios de cálculo serve para informar ao projetista qual a unidade que deverá ser usada nos relatórios, se deve ser em mega-pascal ou em tf/m². Optou-se aqui, que todos os relatórios fossem emitidos em tf/m². Na figura 31 é mostrado a janela de unidades de relatórios.

CAD/Alvest - Critérios de Cálculo

Área Liq./Brutas | Coeficientes | Cargas Verticais | Critérios Gerais | Tabela de Relações

Descrição de material: Blocos de CERÂMICO

Unidade

Unidade: Mega Pascal (MPa) tf/m²

Coeficiente de conversão

Coeficiente de conversão (tf/m² → MPa) 100

Tabela de Relações ?

Valores referentes a áreas e inércias: **Brutas (simplificado)**

Bloco (fbk)	Resistência de prisma (fp)	Argamassa (fak)	Graute (fgk)
Nova linha			

Inserir Remover

Ajuda OK Cancelar

C:\TQS\I - RETANGULAR 1 PARA 3 DE 16 PAVIMENTOS\INSTALV.DAT - Edifício

Figura 31 – Janela de conversão de unidades

Voltando a janela da figura 26, já apresentada anteriormente, é possível acessar a pasta intitulada **Critérios de projeto do edifício**. A figura 32 mostra a entrada de dados deste critério.

CAD/Alvest - Critérios de Projeto do Edifício

Material
 Projeto com referência a áreas e inércias: **Brutas** Material: **Cerâmico Vazado**

"fp" de referência: tf/m² Módulo de Elasticidade (deformação) Longitudinal: = * fp = tf/m²
Estimativa entre (100 * fp e 500 * fp) <= 800.000 tf/m²

Tensões verticais para dimensionamento:
 Trecho + crítico Média Coeficiente de ajuste de distribuição (CoefG) ?

Cargas acumuladas resultantes:
 Trecho + crítico Média Coeficiente de ajuste de distribuição (CoefG) ?

Tab. de Coef. de ajuste de distribuição e "fp" de projeto ?

Piso	Pé-direito (m)	CoefG	fp
17 RESERVATORIO	2.70	1	0
16 COBERTURA	2.70	1	0
15 TIPO 3	2.70	1	0
14 TIPO 3	2.70	1	0
13 TIPO 3	2.70	1	0
12 TIPO 3	2.70	1	0

Cálculo de estabilidade

Piso Topo:
 Ref/Inércias:
 Piso Base: (*)

(*) Piso utilizado, também, para referência / efeito arco

Cargas adicionais / Desaprumo (qx,y)

C:\TQS\1 - RETANGULAR 1 PARA 3 DE 16 PAVIMENTOS\CRIT_ALV.DAT - Edifício

Figura 32 – Janela de critérios de projeto do edifício

Nesta janela deve ser informado ao programa a resistência de prisma máxima que cada pavimento pode ter. Caso se atinja em um pavimento um valor superior ao informado, será emitido um aviso nos relatórios. Outro dado que deve ser informado é se o programa deve calcular os pavimentos pelo trecho mais crítico, o médio ou um intermediário. Neste trabalho decidiu-se pelo trecho mais crítico, para se visualizar os valores extremos das tensões atuantes. Deve-se também informar qual o primeiro e o último pavimento para o cálculo da ação do vento e o pavimento para referência de inércia das paredes. Foi considerado para a atuação do vento o primeiro piso e a cobertura. O pavimento médio entre o primeiro e o último foi utilizado como a referência de inércia.

6 RESULTADOS

Foram feitas três análises distintas para cada tipo de edificação. Foram comparados entre si as três edificações (A, B e C) com três diferentes alturas. A primeira análise foi feita simulando a existência de apenas quatro andares para cada edificação. A segunda análise foi elaborada simulando a existência de dez pavimentos em cada edifício, e a terceira hipótese foi de os prédios possuírem dezesseis andares cada.

As análises foram feitas a partir das tensões atuantes nos grupos de paredes das edificações. Foram elaboradas tabelas resumindo as envoltórias de tensões máximas e mínimas em cada grupo de parede por pavimento, de todas as edificações. Nas figuras 33, 34 e 35 são mostrados os grupos de paredes de cada edificação.

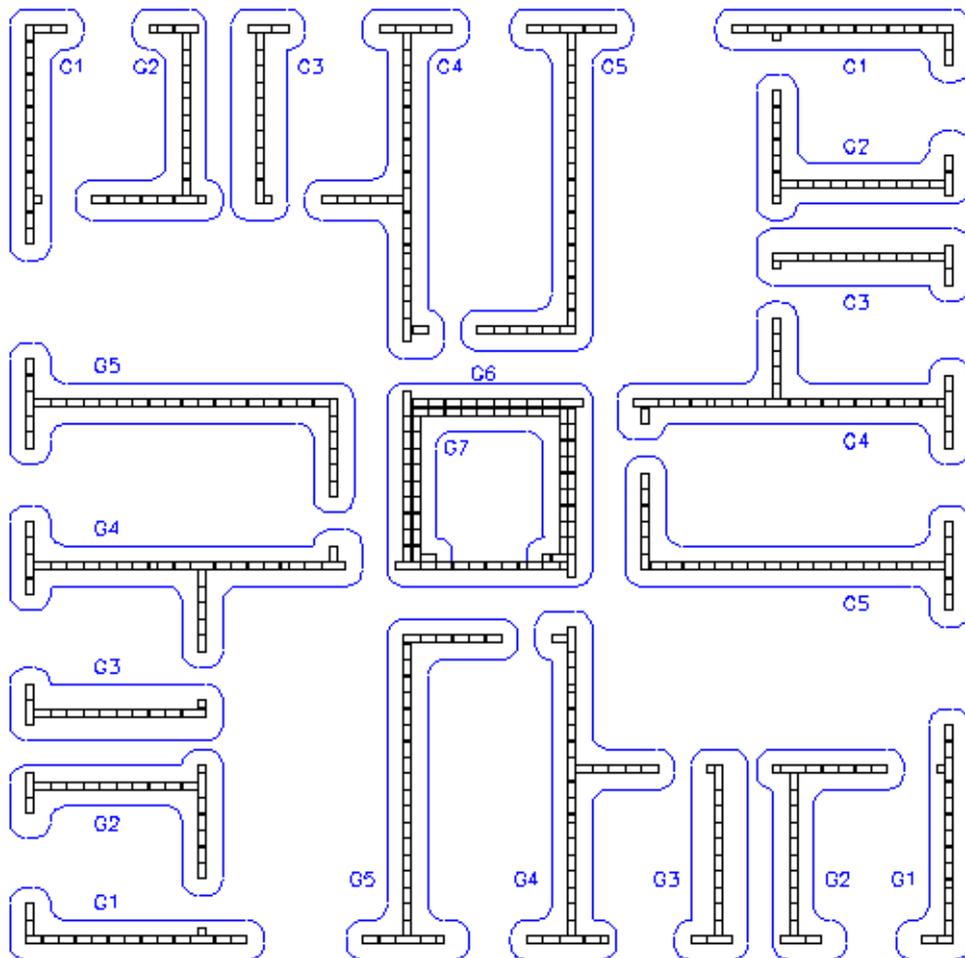


Figura 33 – Grupos de paredes para a edificação A

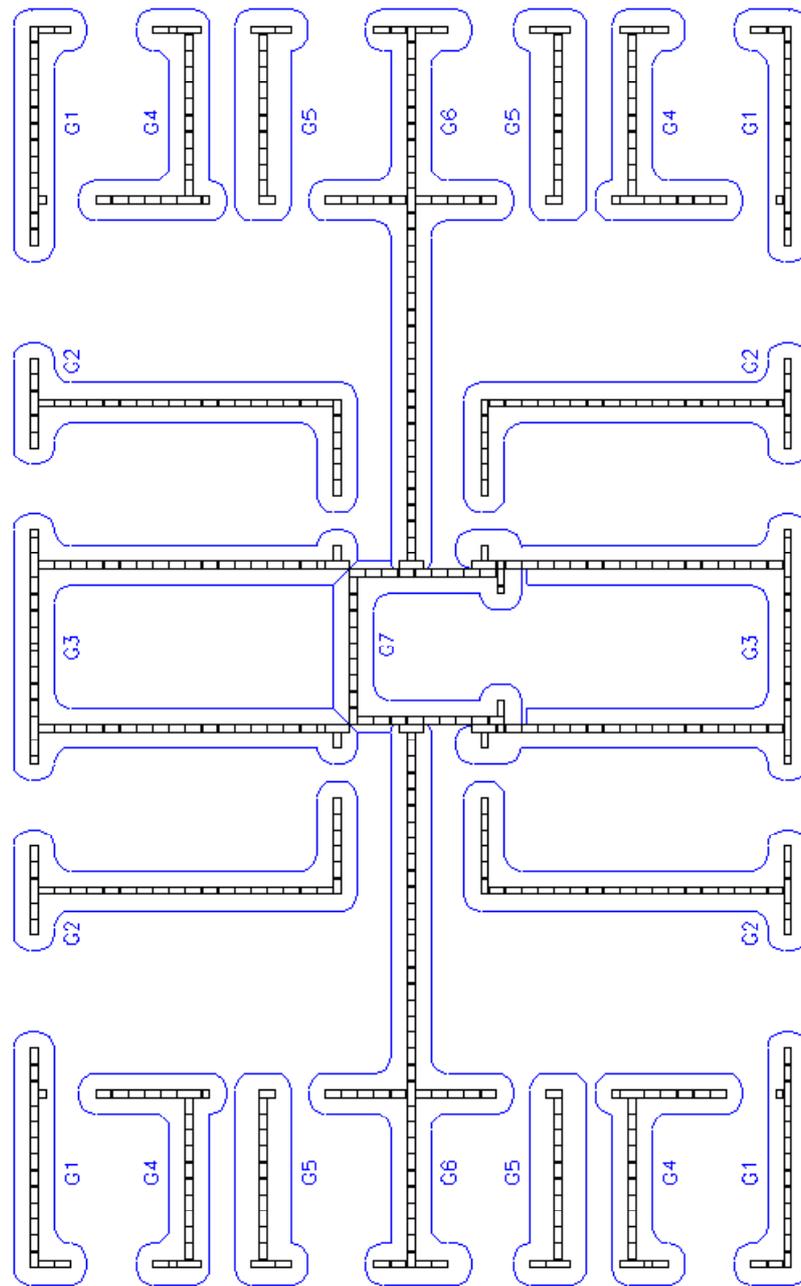


Figura 34 – Grupo de paredes da edificação B

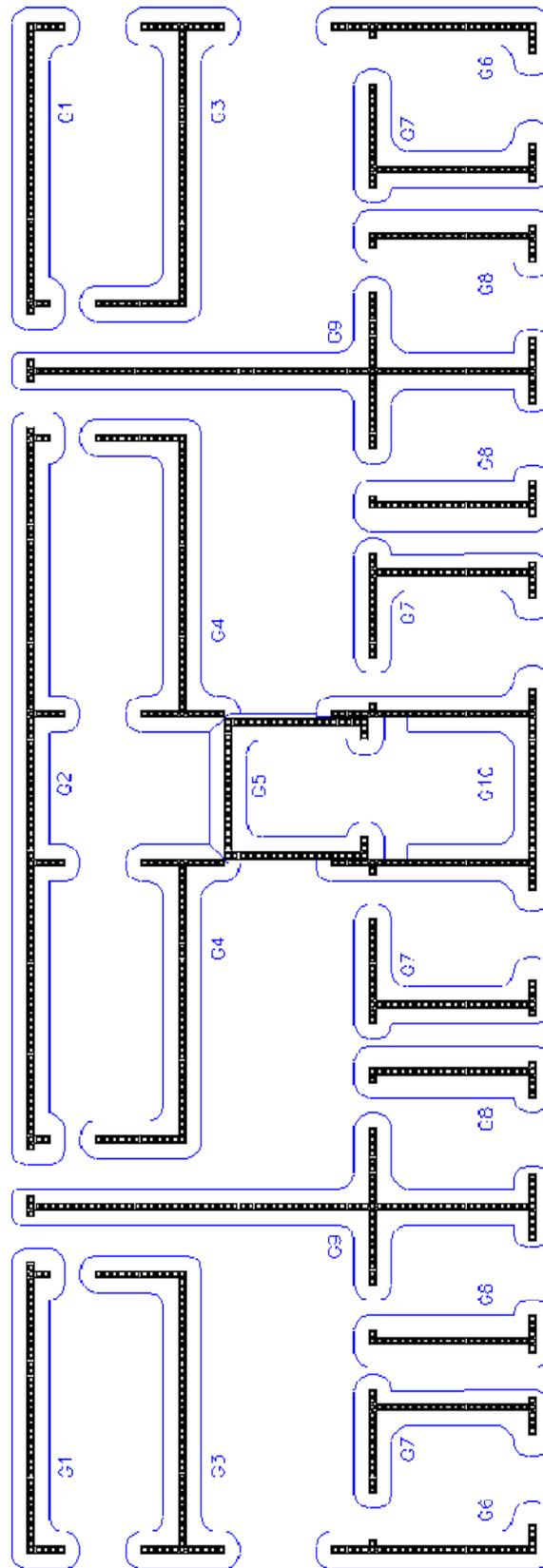


Figura 35 – Grupo de paredes para a edificação C

Com base nesses grupos de paredes foram feitas as tabelas de resultado que são mostradas a seguir. Os primeiros quadros mostram as tensões atuantes nas edificações de quatro pavimentos. Os quadros 8, 9 e 10 mostram as tensões nos edifícios A, B e C respectivamente.

Edifício A															
		G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7	
		max	min												
10 Mpa	4	94	65	107	76	103	73	127	87	119	82	81	56	254	188
	3	227	154	239	167	247	171	290	193	270	179	187	127	295	211
	2	364	239	365	248	392	265	452	289	417	263	297	196	345	236
	1	505	322	489	323	542	357	613	376	560	337	409	262	393	257

Quadro 8 – Resistências de prisma em tf/m^2 no edifício A com quatro pavimentos

Edifício B															
		G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7	
		max	min												
10 Mpa	4	97	71	119	82	121	83	110	80	107	79	108	76	262	194
	3	233	169	270	180	279	185	246	176	256	187	256	177	312	224
	2	374	269	417	265	452	289	375	265	405	294	405	273	369	255
	1	520	369	559	339	632	389	502	347	557	401	554	365	425	282

Quadro 9 – Resistências de prisma em tf/m^2 no edifício B com quatro pavimentos

Edifício C																					
		G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8		G9		G10	
		max	min																		
10 Mpa	4	86	63	97	69	119	87	130	96	262	194	97	68	112	81	111	79	109	70	168	121
	3	193	141	235	167	270	195	285	206	312	223	234	160	251	175	264	185	257	151	420	298
	2	305	222	388	273	417	296	434	309	369	254	376	248	384	260	418	285	406	217	647	461
	1	422	305	550	384	559	391	580	407	424	279	521	334	513	338	575	383	556	268	862	583

Quadro 10 – Resistências de prisma em tf/m^2 no edifício C com quatro pavimentos

Com os resultados apresentados nestes três quadros foi elaborado um gráfico comparando as máximas e mínimas resistências de prisma necessárias para as três edificações. Este gráfico mostra a relação resistência de prisma por pavimento, ilustrando a variação da resistência de prisma conforme a altura da edificação. A figura 36 mostra o gráfico comparativo das edificações com quatro pavimentos.

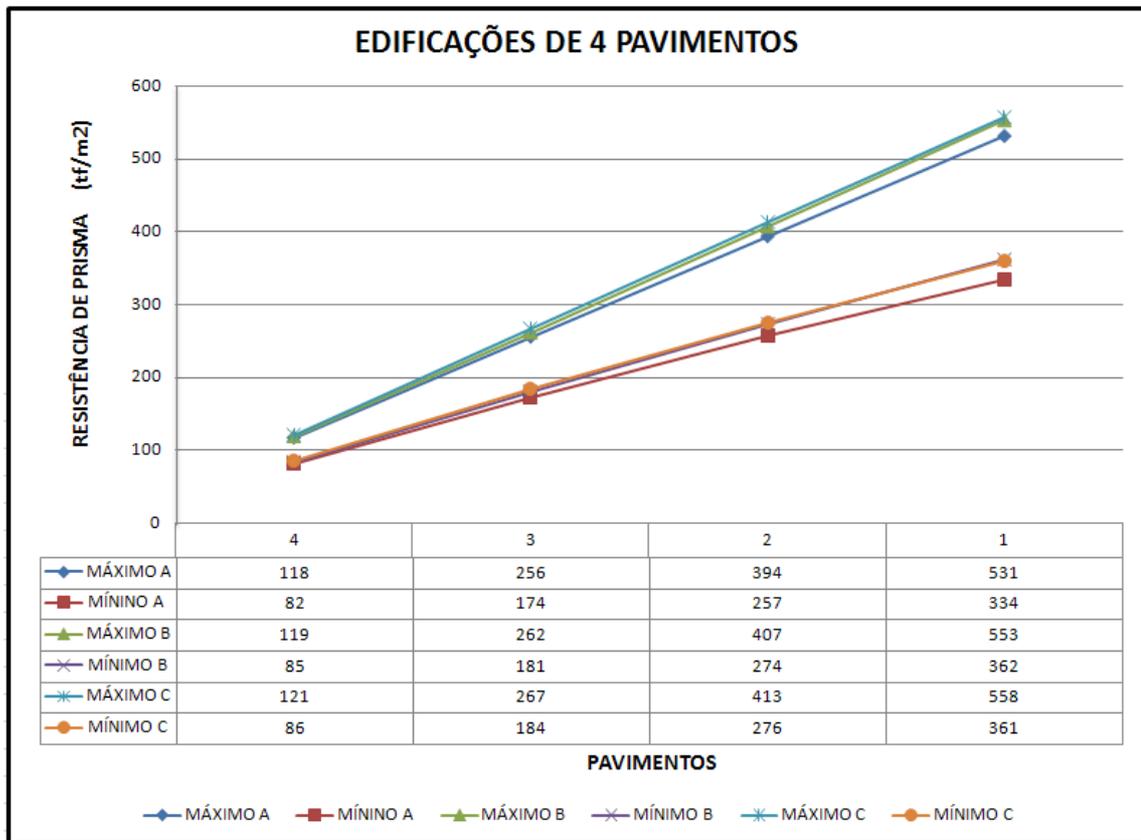


Figura 36 – Gráfico comparativo de edificações de quatro pavimentos

Este gráfico foi elaborado para visualizar melhor a comparação das diferentes formas geométricas das edificações com suas respectivas resistências de prisma.

Os quadros subsequentes mostram as tensões atuantes nos grupos de paredes para edificações de dez pavimentos. Os quadros 11, 12 e 13 mostram estas tensões.

Edifício A															
		G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7	
		max	min	max	min	max									
10 Mpa	10	94	64	107	75	103	71	127	85	120	79	80	55	477	354
	9	227	148	239	163	247	165	290	185	270	170	187	123	509	367
	8	364	226	365	239	392	253	451	270	417	245	297	187	560	389
	7	505	298	489	306	542	336	613	341	560	303	409	244	607	403
	6	649	364	609	364	696	415	776	402	704	347	522	296	656	411
15 Mpa	5	795	424	727	415	853	488	964	453	879	376	635	342	704	414
	4	791	401	708	385	850	468	984	415	890	329	629	322	631	346
	3	941	443	808	418	990	526	1174	443	1054	334	742	355	675	343
	2	1099	481	916	447	1133	580	1372	464	1225	329	863	383	746	336
	1	1263	513	1040	471	1291	632	1578	478	1401	315	990	409	822	325

Tensão de Tração entre -1 e -10 tf/m²
 Tensão de Tração entre -10 e -20 tf/m²
 Tensão de Tração superior a -20 tf/m²

Quadro 11 – Resistências de prisma em tf/m² no edifício A com dez pavimentos

Edifício B															
	G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		
	max	min	max	min											
10 Mpa	10	97	70	119	80	121	81	110	79	107	78	108	75	485	360
	9	233	167	270	172	279	177	246	173	256	185	256	171	525	380
	8	374	264	417	247	452	269	375	264	405	290	405	261	584	408
	7	520	360	559	306	632	354	502	334	557	393	554	343	639	427
	6	668	457	699	349	819	430	626	405	710	506	704	417	696	441
15 Mpa	5	819	552	873	379	1023	497	747	468	865	597	854	485	752	450
	4	816	541	884	332	1054	467	726	442	857	584	842	457	677	380
	3	948	621	1046	337	1268	514	828	489	993	669	971	506	728	382
	2	1081	699	1216	332	1494	554	929	532	1130	753	1107	548	791	380
	1	1216	776	1391	319	1730	590	1028	572	1267	837	1230	587	873	374

	Tensão de Tração entre -1 e -10 tf/m ²
	Tensão de Tração entre -10 e -20 tf/m ²
	Tensão de Tração superior a -20 tf/m ²

Quadro 12 – Resistências de prisma em tf/m² no edifício B com dez pavimentos

Edifício C																					
	G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8		G9		G10		
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	
10 Mpa	10	86	63	97	68	119	86	130	95	484	359	97	67	112	79	111	78	109	66	168	119
	9	193	140	235	164	270	192	285	203	525	379	234	154	251	171	264	180	257	137	420	291
	8	305	219	388	267	417	289	434	302	583	405	376	235	384	250	418	275	426	185	647	434
	7	422	299	550	372	559	379	580	395	639	423	521	311	513	319	575	364	627	209	862	557
	6	543	380	719	478	699	462	722	480	695	438	670	379	640	378	733	447	850	211	1068	664
15 Mpa	5	667	462	895	585	836	539	859	556	751	440	822	441	763	429	894	523	1096	109	1268	756
	4	666	457	902	580	813	511	831	525	676	370	817	417	743	396	885	499	1140	127	1226	701
	3	778	529	1063	674	928	568	943	580	727	368	969	461	847	428	1025	558	1382	78	1395	765
	2	893	601	1228	768	1040	622	1051	629	807	362	1133	499	975	454	1167	611	1640	15	1561	820
	1	1009	673	1397	863	1153	671	1156	674	893	361	1302	533	1108	475	1309	661	1910	-62	1726	867

	Tensão de Tração entre -1 e -10 tf/m ²
	Tensão de Tração entre -10 e -20 tf/m ²
	Tensão de Tração superior a -20 tf/m ²

Quadro 13 – Resistências de prisma em tf/m² no edifício C com dez pavimentos

Nos quadros acima foram criadas legendas para identificar sinais de tensões de tração nos grupos de paredes. A cor verde significa apenas um alerta de início de tração, a cor amarela significa um limite aceitável da alvenaria para suportar estas tensões de tração e a cor vermelha significa obrigatoriamente que a alvenaria não suporta mais estes níveis de tração sendo preciso à utilização de armaduras para combater a estes esforços. As cores verdes estão informando que ali existem esforços da ordem de -1 a -10 tf/m². As cores amarelas estão informando que tensões entre -10 e -20 tf/m² estão ali presentes, e as cores vermelhas mostram tensões acima de -20 tf/m². Vale lembrar que os valores nos quadros acima são referentes as resistências de prisma, e que as cores apenas indicam faixas de tensões de tração.

Na figura 37 é mostrado a relação de resistência de prisma por pavimento para edificações de dez andares.

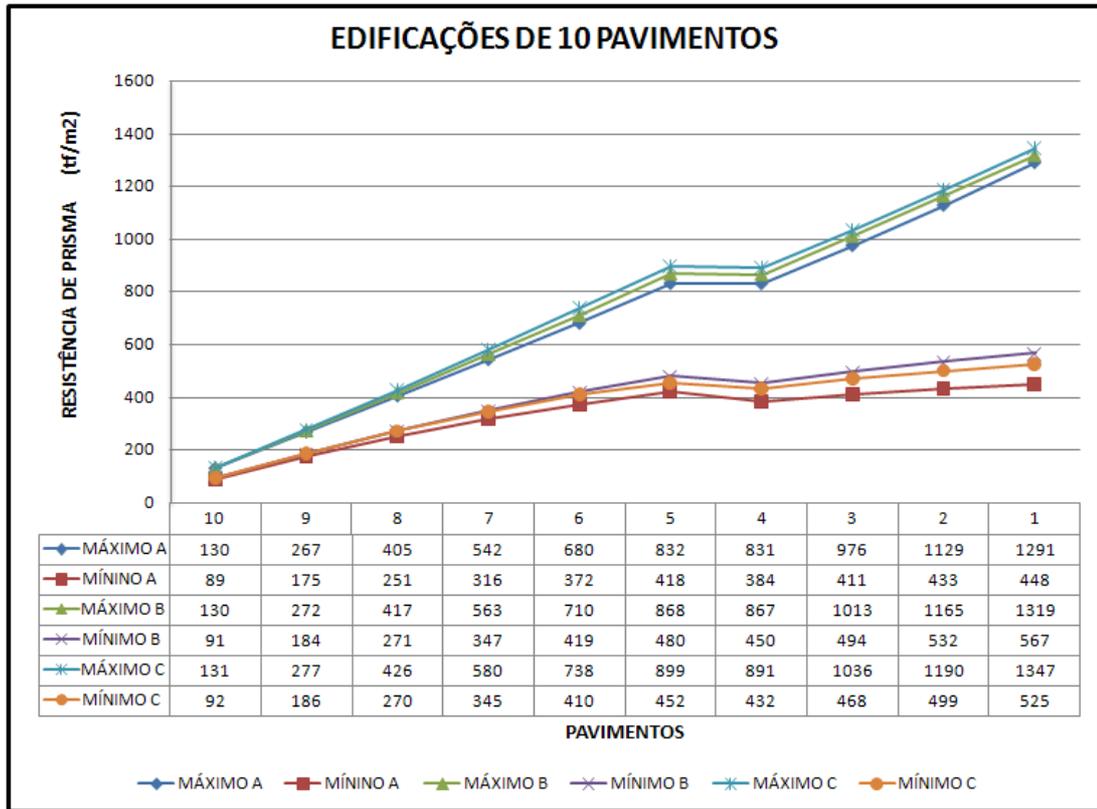


Figura 37 – Gráfico comparativo de edificações de dez pavimentos

A última análise mostra a comparação para edifícios de dezesseis pavimentos. Os quadros 14, 15 e 16 mostram as resistências necessárias para combater aos esforços atuantes nessas estruturas.

Edifício A															
	G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		
	max	min	max	min	max	min									
10 Mpa	16	94	62	107	74	103	70	127	83	119	77	80	54	700	521
	15	227	144	239	159	247	162	290	179	270	164	187	119	722	525
	14	364	217	365	232	392	245	452	256	417	232	297	179	774	544
	13	505	283	489	294	542	323	613	319	561	281	409	232	822	554
	12	649	340	609	346	696	393	800	366	740	312	522	277	870	559
	11	807	389	727	388	853	458	1015	402	930	325	641	315	918	552
15 Mpa	10	829	361	710	354	850	433	1043	356	949	270	656	291	810	454
	9	994	390	837	378	1010	479	1252	365	1131	256	784	313	854	442
	8	1167	412	969	395	1185	520	1473	363	1324	229	919	330	926	425
	7	1350	426	1106	404	1368	555	1706	350	1527	189	1057	341	1015	402
	6	1540	433	1248	408	1559	585	1951	326	1740	136	1208	346	1108	375
18 Mpa	5	1737	433	1396	405	1758	610	2208	293	1962	72	1363	347	1207	343
	4	1633	392	1404	366	1780	576	2242	233	1986	4	1382	316	1189	282
	3	1959	389	1555	362	1982	599	2502	195	2211	-65	1540	316	1295	253
	2	2164	380	1709	354	2189	618	2771	150	2443	-143	1704	313	1404	221
	1	2374	366	1866	341	2402	634	3047	98	2681	-229	1871	306	1516	185

■ Tensão de Tração entre -1 e -10 tf/m²

■ Tensão de Tração entre -10 e -20 tf/m²

■ Tensão de Tração superior a -20 tf/m²

Quadro 14 – Resistências de prisma em tf/m² no edifício A com dezesseis pavimentos

Edifício B															
	G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	
10 Mpa	16	97	69	119	78	121	79	110	78	107	78	108	73	707	527
	15	233	165	270	166	279	171	246	171	256	184	256	167	738	538
	14	374	260	417	234	452	256	375	253	405	286	405	252	799	564
	13	520	354	559	284	632	331	502	326	557	388	554	327	854	579
	12	668	447	733	315	838	394	626	392	710	487	704	393	910	587
	11	819	538	922	329	1076	445	747	450	865	585	854	450	966	588
15 Mpa	10	815	525	940	275	1115	407	726	421	857	570	847	418	856	489
	9	948	600	1122	262	1349	434	828	461	993	651	1007	454	907	482
	8	1082	672	1313	235	1598	451	929	496	1130	731	1173	482	971	469
	7	1216	742	1514	196	1861	458	1029	525	1267	808	1347	503	1065	451
	6	1351	809	1726	145	2139	456	1146	550	1406	883	1528	517	1165	428
	5	1485	874	1947	82	2429	445	1273	570	1544	956	1715	524	1269	400
18 Mpa	4	1472	852	1971	15	2473	391	1274	536	1529	935	1729	481	1249	338
	3	1606	916	2195	-54	2768	376	1403	555	1667	1007	1919	486	1360	313
	2	1740	977	2425	-130	3073	354	1534	571	1806	1078	2113	486	1474	284
	1	1874	1036	2662	-214	3388	327	1667	583	1945	1147	2311	481	1592	252

	Tensão de Tração entre -1 e -10 tf/m ²
	Tensão de Tração entre -10 e -20 tf/m ²
	Tensão de Tração superior a -20 tf/m ²

Quadro 15 – Resistências de prisma em tf/m² no edifício B com dezesseis pavimentos

Edifício C																					
	G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8		G9		G10		
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	
10 Mpa	16	86	62	97	68	119	86	130	94	707	526	97	66	112	78	111	77	109	63	168	118
	15	193	139	235	162	270	190	285	201	738	552	234	151	251	168	264	177	259	128	420	287
	14	305	217	388	263	417	285	434	298	798	562	376	228	384	243	418	268	446	165	647	425
	13	422	296	550	365	559	372	580	388	853	574	521	297	513	307	575	352	662	173	862	542
	12	543	376	719	467	699	451	722	468	909	580	670	357	640	360	733	428	906	155	1068	639
	11	667	455	895	570	836	523	859	540	965	584	822	409	763	403	894	497	1177	109	1268	721
15 Mpa	10	666	449	902	563	813	493	831	506	855	484	849	380	751	366	885	469	1234	32	1226	660
	9	778	518	1063	652	928	544	943	555	906	468	1018	412	886	387	1025	517	1508	-47	1395	710
	8	893	587	1228	739	1040	589	1051	597	987	452	1197	436	1028	402	1197	558	1803	-148	1598	749
	7	1009	655	1397	826	1152	630	1156	633	1084	430	1383	452	1174	408	1375	593	2118	-269	1816	777
	6	1126	723	1569	911	1262	666	1259	663	1188	403	1578	461	1327	407	1560	623	2454	-411	2042	795
	5	1245	789	1744	995	1372	697	1360	688	1297	370	1781	554	1485	400	1753	646	2808	-572	2276	804
18 Mpa	4	1241	779	1743	980	1363	661	1347	645	1279	306	1804	420	1495	356	1769	607	2878	-671	2279	734
	3	1361	846	1919	1064	1497	690	1473	666	1395	276	2009	418	1656	347	1962	627	3240	-839	2517	742
	2	1481	913	2098	1147	1633	715	1600	682	1514	242	2220	411	1821	333	2161	644	3616	####	2760	741
	1	1603	979	2279	1230	1771	738	1728	695	1636	205	2436	399	1989	314	2365	656	4004	####	3007	734

	Tensão de Tração entre -1 e -10 tf/m ²
	Tensão de Tração entre -10 e -20 tf/m ²
	Tensão de Tração superior a -20 tf/m ²

Quadro 16 – Resistências de prisma em tf/m² no edifício C com dezesseis pavimentos

Na figura 38 é mostrado a comparação destas resistências conforme se eleva a edificação.

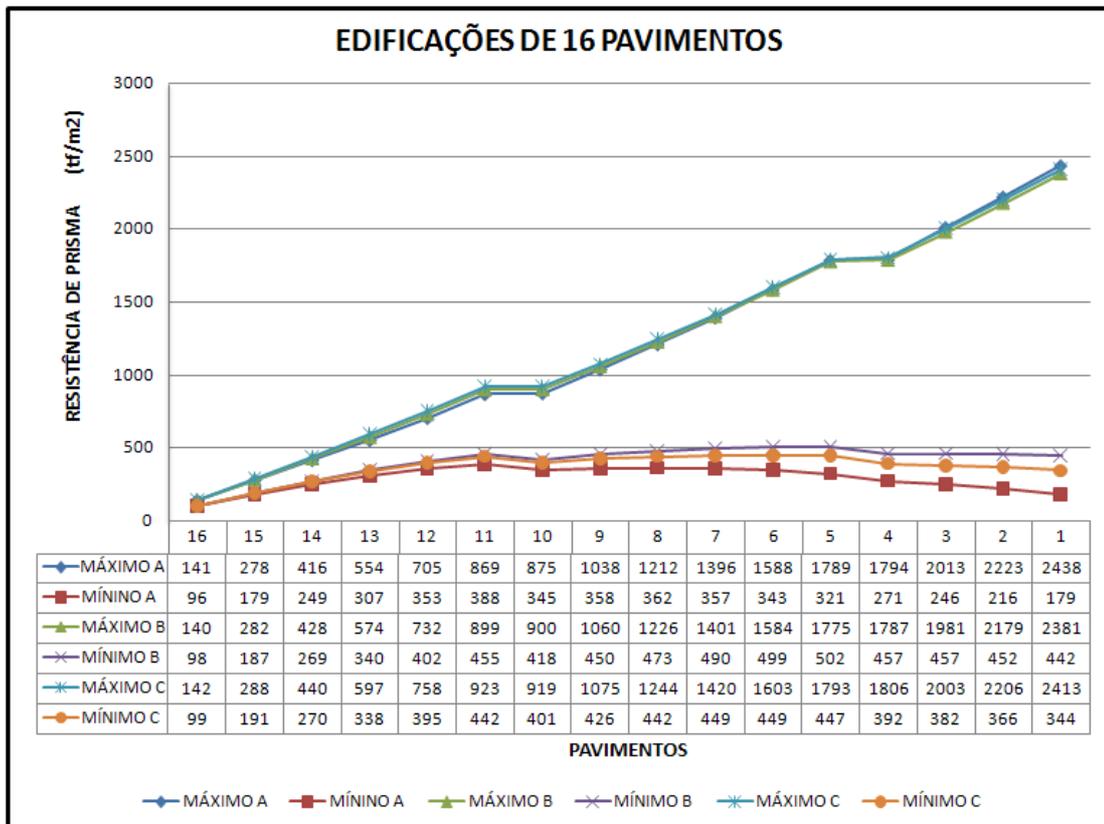


Figura 38 – Gráfico comparativo de edificações de dezesseis pavimentos

7 CONCLUSÕES FINAIS

Este trabalho visou mostrar que a forma geométrica das edificações em alvenaria estrutural exerce certa influência na sua estrutura. Foram analisadas três edificações tipo, cada uma com uma geometria em particular, e submetidas estas, a três categorias de edificações: edificações baixas, de até quatro pavimentos, edificações medianas, de até dez pavimentos, e edificações altas, de até dezesseis pavimentos. Procurou-se identificar, através das tensões atuantes na alvenaria, a influência que uma a forma geométrica de uma edificação exerce na rigidez do edifício em relação às outras geometrias. Vale lembrar que todas as comparações foram feitas a partir de edificações muito semelhantes e com características praticamente iguais.

Para a primeira análise, onde, observou-se a relação das geometrias para edificações de quatro pavimentos, pode-se notar que a forma geométrica das edificações não exerceu nenhuma influência significativa nas tensões que atuaram na alvenaria. Não foi observado nenhum tipo de tensão de tração na alvenaria e nenhuma discrepância nas resistências de prisma necessárias para as três edificações. As mesmas se comportaram de forma muito semelhantes, necessitando das mesmas resistências de blocos ao longo de toda a edificação. Isso se deve ao fato de que, por serem edificações baixas, a ação do vento não se torna muito significativa e consequentemente a ação vertical é o carregamento que influi nas resistências dos blocos. Como os carregamentos verticais são semelhantes nas três edificações, os edifícios se comportaram da mesma maneira.

Na segunda análise, onde foram observadas as edificações com dez pavimentos, já foi possível notar certa influência da geometria nas edificações. Nas edificações A e B as tensões se comportaram de forma muito parecida, sendo necessário o grauteamento, para evitar esforços de tração, em um ou dois grupos de paredes e em um ou dois andares. Já no edifício C a forma geométrica do mesmo mostrou a sua fraqueza. Nesta edificação, que possui um de seus lados três vezes maior que o outro, foi necessário o grauteamento de um grupo de parede nos seis primeiros pavimentos do prédio. Nesta análise a influência da geometria nas edificações se torna clara. Enquanto que edificações com formas geométricas que mais se aproximam da quadrada tiveram tensões de tração em no máximo dois pavimentos, a outra teve tensões de tração três vezes superior. Neste caso onde a ação do vento exerce maior influência, superando em diversos casos a ação vertical, é necessário que a edificação possua uma boa rigidez em ambos os sentidos para evitar trações indesejadas.

Na terceira análise, com edificações de dezesseis pavimentos a forma geométrica das edificações também exerceu grande influência na estrutura. No edifício A, pode ser notado que todos os grupos de paredes necessitariam de grauteamento e armadura, para combater as tensões de tração, em praticamente todos os seis primeiros pavimentos e em mais alguns grupos de paredes nos pavimento seguintes até o décimo andar. Isso acontece devido ao edifício ser quadrado e por isso possuir a mesma robustez em ambos os sentidos. No edifício B o que acontece é semelhante ao ocasionado no edifício A, a diferença é que por se tratar de uma edificação onde a robustez do mesmo é um pouco menor num sentido do que no outro, grupos de paredes menores, que estão direcionadas para a direção de maior inércia do edifício não são forçados a combater esforços de tração, estes são aplicados em grupos de paredes maiores. Então mesmo não sendo necessário o grauteamento de todas as paredes da edificação B, esta e a edificação A se comportam de maneira muito semelhante. Na edificação C o problema de ter um lado três vezes menor que o outro e, conseqüentemente, uma robustez muito menor num sentido do que no outro, levou a necessidade de praticamente todos os grupos de paredes, direcionadas para a menor inércia do edifício, serem grauteados até, praticamente, o quinto pavimento e outro grupo de parede continuar este grauteamento até o décimo terceiro pavimento. Neste caso pode-se afirmar que um grupo de parede está praticamente do topo até o chão do edifício sendo grauteado afim de combater aos esforços de flexão da edificação.

Pode-se notar que em todas as análises as resistências de prisma sempre foram muito próximas para os três edifícios. Isso se deve ao fato de que é o carregamento vertical que influi na resistência de prisma. Uma vez que todas as edificações analisadas possuem semelhantes carregamentos verticais, as mesmas possuirão também, semelhantes resistências de prisma.

O que pode ser visto com este trabalho é que a forma geométrica das edificações irá exercer uma influência na estrutura para edificação com mais de quatro ou cinco pavimentos. Nestas edificações a ação do vento é muito inferior as cargas verticais e por isso a forma geométrica das edificações são praticamente desprezíveis para a análise. Para edifícios com alturas mais elevadas a forma geométrica da edificação irá influir e muito nas tensões atuantes nos blocos e dependendo da forma geométrica ajudar no combate aos esforços de tração. Para edificações medianas e altas, as formas geométricas mais quadradas e simétricas são muito mais recomendadas do que as formas retangulares onde um lado é muitas vezes maior que o outro.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1988.

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

_____. **NBR 10837**: cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1989.

BONILHA, F. N. **Alvenaria Estrutural**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1991.

CAMACHO, J. S. **Alvenaria Estrutural Não Armada**: parâmetros básicos a serem considerados no projeto dos elementos resistentes. 1986. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

COÊLHO, R. S. A. **Alvenaria Estrutural**. São Luís: Editora da UEMA, 1998.

DUARTE, R. B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: ANICER, 1999.

GALLEGOS, H. **Curso de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1988. Não paginada. Apostila.

GALLEGOS, H. **Albañileria Estrutural**. 2 ed. Lima: Fondo Editorial da Ponticia Universidad Catolica del Peru, 1989.

GOMES, N. S. **A Resistência das Paredes de Alvenaria**. 1983. 190 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Carlos.

MANZIONE, L. **Projeto e Execução de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2007

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RAUBER, F. C. **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. 2005. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/7329599/Alvenaria-Estrutural-Modulacao-FelipeClausRaubert-Dissertacao-Alvenaria-Estrutural>>. Acesso em: 17 abr. 2009

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.