

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA**

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**ESTUDO COMPARATIVO DAS TENSÕES NORMAIS E DE
CISALHAMENTO EM EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL
OBTIDAS ATRAVÉS DOS MODELOS DE GRUPOS ISOLADOS DE
PAREDES, PAREDES ISOLADAS COM ABAS E TRIDIMENSIONAL
ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**

**ZÉLIA CONCEIÇÃO PEREIRA RAMOS
2016**

AGRADECIMENTOS

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho, fica expressa aqui a minha gratidão, em especial:

A Deus, pelo dom da vida!

À minha família, pela presença constante, paciência e apoio sempre que necessários!

À Alessandra Cristina Rodrigues Souza, pela colaboração durante esses anos no curso de especialização!

Ao Professor Roberto Márcio, pela orientação, aprendizado e disponibilidade!

Resumo

Este trabalho consiste em apresentar uma comparação entre os resultados no que se refere à tensão - normal e de cisalhamento - entre diferentes métodos de análise de alvenaria estrutural, sendo dois analíticos e um método numérico. Os métodos analisados são: modelo de grupos isolados de paredes, modelo de paredes isoladas com abas e modelo tridimensional através do método dos elementos finitos. O modelo numérico aborda uma modelagem mais precisa que as normalmente empregadas para esse tipo de estrutura. Nesse método um edifício de dez pavimentos é modelado no *software* Strap. A partir da comparação das tensões, observa-se a importância e influência da modelagem sobre o comportamento da estrutura, apontando para a necessidade do refinamento dos modelos usualmente empregados na análise de edifícios em alvenaria estrutural, visando a economia e segurança dos projetos.

Palavras-chave: Cálculo; Alvenaria estrutural; Método dos elementos finitos.

LISTA DE FIGURAS

Figuras 1 e 2 – Pirâmide de Queops	8
Figura 3 – Farol de Alexandria.....	8
Figura 4 – Catedral de Reims	9
Figura 5 – Monadnock Building.....	10
Figura 6 – Primeiros Edifícios Residenciais no Brasil	11
Figura 7 – Primeiros Edifícios Residenciais no Brasil	11
Figura 8 – Técnicas de Modelagem da Alvenaria	14
Figura 9 – Projeto arquitetônico – Planta Baixa.....	18
Figura 10 – Projeto arquitetônico – Planta Baixa – Numeração das Paredes.....	19
Figura 11 – Modelo Estrutural.....	20
Figura 12 – Ação Horizontal Equivalente para Consideração do Desaprumo	23
Figura 13 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento	23
Figura 14 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 8 e 9 – 1º Pavimento	24
Figura 15 – Tensão Normal (kN/m^2) – Parede 11 – 1º Pavimento.....	24
Figura 16 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 13@15 – 1º Pavimento	24
Figura 17 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 39 e 40 – 1º Pavimento	24
Figura 18 – Tensão Normal (kN/m^2) – Parede 42 – 1º Pavimento.....	25
Figura 19 – Tensão Normal (kN/m^2) – Parede 44 – 1º Pavimento	25
Figura 20 – Tensão Normal (kN/m^2) – Parede 46 – 1º Pavimento.....	25
Figura 21 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 50 e 51 – 1º Pavimento	26
Figura 22 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento	26
Figura 23 – Tensão de Cisalhamento (kN/m^2) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento.....	26
Figura 24 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 8 e 9 – 1º Pavimento	27
Figura 25 – Tensão de Cisalhamento (kN/m^2) – Paredes 8 e 9 – 1º Pavimento.....	27
Figura 26 – Tensão Normal (kN/m^2) – Parede 11 – 1º Pavimento.....	27
Figura 27 – Tensão de Cisalhamento (kN/m^2) – Parede 11 – 1º Pavimento	27
Figura 28 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 13@15 – 1º Pavimento	28
Figura 29 – Tensão de Cisalhamento (kN/m^2) – Paredes 13@15 – 1º Pavimento.....	28
Figura 30 – Tensão Normal (kN/m^2) – Paredes 39 e 40 – 1º Pavimento	28
Figura 31 – Tensão de Cisalhamento (kN/m^2) – Paredes 39 e 40 – 1º Pavimento.....	29
Figura 32 – Tensão Normal (kN/m^2) – Parede 42 – 1º Pavimento.....	29
Figura 33 – Tensão de Cisalhamento (kN/m^2) – Parede 42 – 1º Pavimento	29

Figura 34 – Tensão Normal (kN/m ²) – Parede 44 – 1º Pavimento.....	29
Figura 35 – Tensão de Cisalhamento (kN/m ²) – Parede 44 – 1º Pavimento	30
Figura 36 – Tensão Normal (kN/m ²) – Parede 46 – 1º Pavimento.....	30
Figura 37 – Tensão de Cisalhamento (kN/m ²) – Parede 46 – 1º Pavimento	30
Figura 38 – Tensão Normal (kN/m ²) – Paredes 50 e 51 – 1º Pavimento	30
Figura 39 – Tensão de Cisalhamento (kN/m ²) – Paredes 50 e 51 – 1º Pavimento.....	31
Figura 40 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m ²) – Esforços Verticais.....	33
Figura 41 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m ²) – Esforços em X.....	34
Figura 42 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m ²) – Esforços em X.....	35
Figura 43 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m ²) – Esforços em Y	36
Figura 44 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m ²) – Esforços em Y.....	36
Figura 45 – Tensão Normal (kN/m ²) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento	37
Figura 47 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m ²) – Esforços em X - Sem consideração da concentração	39
Figura 48 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m ²) – Esforços em X - Sem consideração da concentração	40
Figura 49 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m ²) – Esforços em Y - Sem consideração da concentração	41
Figura 50 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m ²) – Esforços em Y - Sem consideração da concentração	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos elementos para discretização das paredes e lajes.....	16
Tabela 2 – Propriedades dos elementos.....	16
Tabela 3 – Carregamentos	20
Tabela 4 – Pressão de obstrução.....	22
Tabela 5 – Tensões Normais Decorrentes dos Esforços Verticais	33
Tabela 6 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em X	34
Tabela 7 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em Y	36
Tabela 8 – Tensões Normais Decorrentes dos Esforços Verticais – Sem consideração da concentração	38
Tabela 9 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em X - Sem consideração da concentração	39
Tabela 10 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em Y - Sem consideração da concentração	40

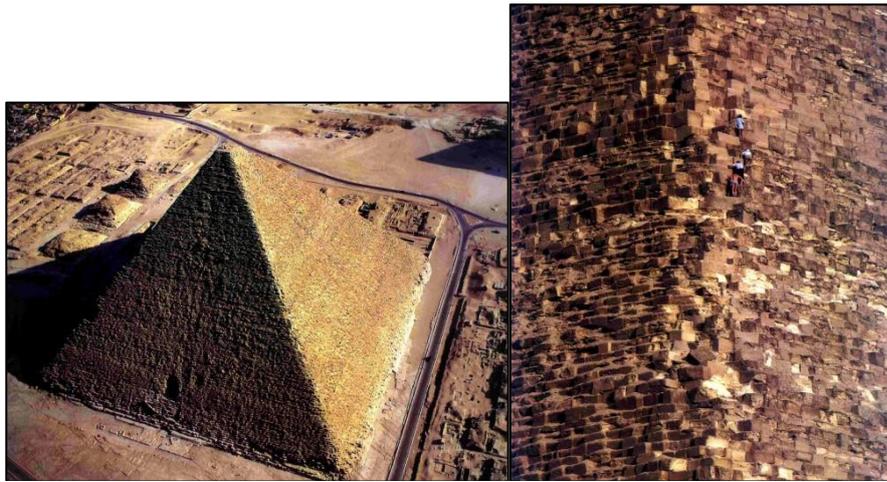
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
1.1	Considerações Preliminares	8
1.2	Objetivos e Metodologia.....	12
1.3	Justificativas.....	12
1.4	Resumo dos Capítulos	13
2	CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA UTILIZADOS NA ALVENARIA	
	ESTRUTURAL.....	14
3	ANÁLISE ESTRUTURAL ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS	
	FINITOS - MEF	16
3.1	Introdução	16
3.2	Projeto Arquitetônico.....	17
3.3	Modelo Estrutural	19
3.4	Carregamento.....	20
3.5	Resultados.....	23
3.5.1	Tensões normais decorrentes das cargas verticais.....	23
3.5.2	Tensões normais e de cisalhamento decorrentes das cargas horizontais aplicadas em X – vento e desaprumo	26
3.5.3	Tensões normais e de cisalhamento decorrentes das cargas horizontais aplicadas em Y – vento e desaprumo	28
4	COMPARAÇÕES E DISCUSSÃO	32
5	CONCLUSÃO.....	42
6	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Preliminares

A alvenaria é uma das mais antigas formas de construção utilizadas pela humanidade. Desde a Antiguidade ela tem sido largamente utilizada pelo homem em suas habitações, monumentos, templos, etc. Como exemplos antigos têm-se: a pirâmide de Queops, mostrada nas Figs. 1 e 2, o farol de Alexandria, Fig. 3, e as grandes catedrais góticas, como a mostrada na Fig. 4.



Figuras 1 e 2 – Pirâmide de Queops

Fonte: <http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/queops.htm>. Acesso em: 26 nov. 2015.

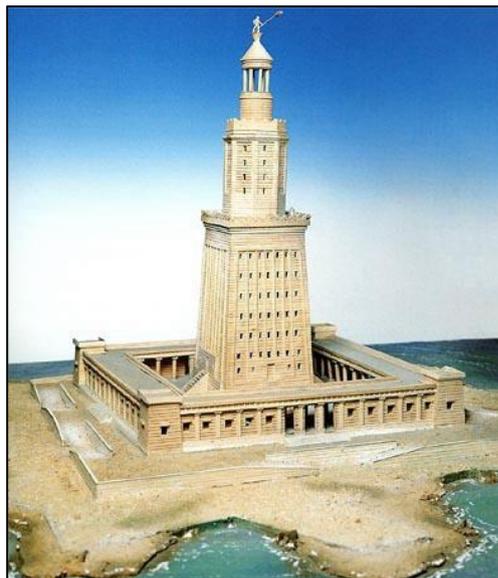


Figura 3 – Farol de Alexandria

Fonte: <http://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/farol-de-alexandria--maravilha-do-mundo.html>. Acesso em: 26 nov. 2015.

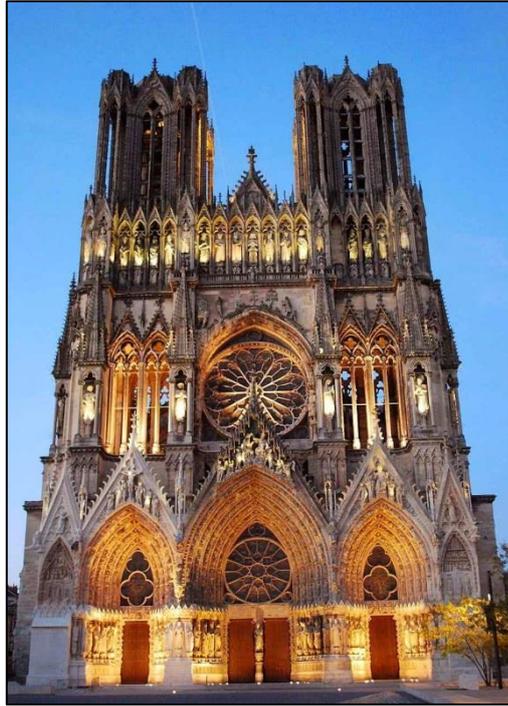


Figura 4 – Catedral de Reims

Fonte: <http://catedraismedievais.blogspot.com.br/2015/01/catedral-de-reims-fatos-simbolicos.html>. Acesso em: 26 nov. 2015.

A Pirâmide de Queops, também conhecida como a Grande Pirâmide, é o monumento mais pesado já construído pelo homem. Possui aproximadamente 2,3 milhões de blocos de rocha, cada um pesando em média 2,5 toneladas. A grandeza desses blocos pode ser observada na Fig. 2, que mostra pessoas escalando a pirâmide.

O farol de Alexandria possuía altura superior a 130 m, todo feito em granito. As catedrais góticas, como a Catedral de Reims, foram construídas na Idade Média, com vãos expressivos e bela arquitetura, realizada com a utilização de arcos e abóbadas.

Apesar do uso intenso da alvenaria, apenas no início do século passado, por volta de 1920, passou-se a estudá-la com base em princípios científicos e experimentação laboratorial. Esta postura possibilitou o desenvolvimento de teorias racionais que fundamentam a arte de se projetar em alvenaria estrutural.

A partir de então, edifícios cujas paredes tinham espessuras exorbitantes, como o Monadnock Building, Fig. 5, construído em Chicago no final do século XIX, com paredes de 1,80m, aproximadamente, cederam lugar a edifícios com paredes mais esbeltas.



Figura 5 – Monadnock Building

Fonte: <http://www.fehrlawgroup.com/ste-1334/>. Acesso em: 26 nov. 2015

Já com o uso do concreto armado e do aço estrutural, a utilização da alvenaria dirigiu-se, prioritariamente, às edificações de pequeno porte, visto que, os dois primeiros, possibilitaram a construção de edifícios com peças de dimensões reduzidas.

Após a realização de diversas experimentações na Europa, na década de 50, a utilização da alvenaria ganhou um novo impulso. Em 1951, Paul Haller dimensionou e construiu na Suíça um edifício de treze pavimentos em alvenaria não-armada, com paredes internas de 15 cm de espessura e externas de 37,5 cm. Muitos outros edifícios foram construídos em países como Inglaterra, Alemanha, Suíça e também nos Estados Unidos. Neste país, a alvenaria estrutural passou a ser empregada mesmo em zonas sujeitas a abalos sísmicos, sendo, neste caso, utilizada a alvenaria estrutural armada.

No Brasil, a cronologia das edificações realizadas com blocos vazados estruturais é um pouco controversa, mas supõe-se que os primeiros edifícios tenham surgido em 1966, em São Paulo. Foram executados com blocos de concreto e tinham apenas quatro pavimentos, conforme se apresenta na Fig. 6. Edifícios mais elevados foram construídos, também em São Paulo, em 1972. O condomínio Central Parque da Lapa tinha quatro blocos com doze pavimentos em alvenaria armada de blocos de concreto, Fig. 7. Posteriormente foi construído o edifício Muriti, em São José dos Campos, com 16 pavimentos, em alvenaria armada de blocos vazados de concreto.

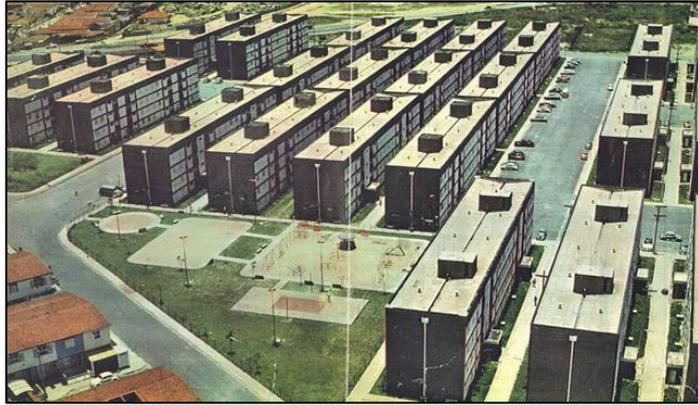


Figura 6 – Primeiros Edifícios Residenciais no Brasil
Fonte: <http://ccpl.com.br/>. Acesso em: 29 nov. 2015



Figura 7 – Primeiros Edifícios Residenciais no Brasil
Fonte: <http://www.comunidade-da-construcao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>. Acesso em: 29 nov. 2015

Em alvenaria estrutural não armada, apenas do final da década de 70 é que se tem notícia dos primeiros edifícios: edificações de nove pavimentos e executadas com blocos sílico-calcários, com 24 cm de espessura para as paredes estruturais. Apesar da chegada tardia, o sistema se firmou como uma alternativa eficiente e econômica para a execução de edificações residenciais e industriais. Com um desenvolvimento mais lento a princípio e bem mais rápido nos últimos anos, o sistema acabou sendo muito bem aceito, o que se pode perceber principalmente quando se considera o número de empresas produtoras de blocos, tanto de concreto como cerâmicos, existentes no mercado. Atualmente, o uso de alvenaria no Brasil, seja de vedação ou estrutural, ocorre com alto grau de aplicação de tecnologias racionalizadas.

1.2 Objetivos e Metodologia

A distribuição das cargas verticais e/ou horizontais para o cálculo das tensões nas alvenarias pode ser feita através de diferentes métodos. Cada um tendo suas vantagens, desvantagens e aplicações apropriadas. É necessário conhecer as possibilidades e aplicabilidades de cada uma para que não haja sub ou superdimensionamento significativo da alvenaria, levando a estruturas inadequadas para o uso ou a estruturas dispendiosas.

O objetivo principal deste trabalho é calcular as tensões normais e de cisalhamento de um edifício de 10 pavimentos, através de uma análise numérica utilizando o método dos elementos finitos, MEF, e comparar com as tensões calculadas através de métodos analíticos – modelo de grupos isolados de paredes, para análise de cargas verticais, e modelo de paredes isoladas com abas, para análise de cargas horizontais – a fim de analisar a relação dos resultados destes últimos com os resultados encontrados no MEF.

A metodologia empregada para realização do trabalho pode ser descrita como:

- a) Modelagem numérica, em elementos finitos, do edifício em estudo. Apresentação dos resultados.
- b) Elaboração dos gráficos de tensões normais e de cisalhamento de cada parede com os resultados calculados na modelagem numérica e resultados fornecidos pela modelagem analítica.
- c) Comparação dos resultados.

1.3 Justificativas

A execução de edifícios em alvenaria estrutural apresentou nos últimos anos, e continua apresentando, um alto potencial de crescimento. Neste processo construtivo, quando comparado ao processo construtivo em concreto armado, há uma racionalização na execução da obra, com redução no consumo e desperdício de materiais, além de maior rapidez na construção, barateando o custo final do empreendimento. Há de se ressaltar que o índice de desperdício na construção civil no Brasil é elevadíssimo, especialmente em se tratando de construção de estruturas convencionais em concreto armado.

Diante disso, nos últimos anos, esforços vêm sendo feitos para que os edifícios em alvenaria estrutural sejam construídos em substituição aos convencionais, sendo projetados e executados de forma menos onerosa e mais segura possível.

Estudos e pesquisas voltadas para a realidade brasileira foram e continuam sendo feitos para embasar e melhorar os procedimentos utilizados no cálculo das alvenarias estruturais. Por se encaixar nesse objetivo, a elaboração deste presente trabalho é justificada. Ele será uma contribuição para fundamentar métodos sobre um processo construtivo que é, de fato, de grande viabilidade econômica e social.

1.4 Resumo dos Capítulos

No capítulo 2 apresenta-se um panorama geral sobre o comportamento do material alvenaria e sobre estudos científicos realizados nessa área.

No capítulo 3 faz-se a modelagem numérica da estrutura através do método dos elementos finitos no *software* Strap.

No capítulo 4 realiza-se a aferição do modelo apresentado no capítulo 3, comparando-se com resultados fornecidos por cálculos analíticos.

No capítulo 5 apresentam-se as conclusões do trabalho.

2 CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA UTILIZADOS NA ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria é um material estrutural composto, formado por blocos e argamassa, sendo assim, um material heterogêneo e anisotrópico. Por natureza, a alvenaria apresenta uma resistência à compressão elevada e baixa resistência à tração, esta sendo determinada principalmente pela adesão do bloco com a argamassa. Entretanto, segundo Gallegos (apud Peleteiro, 2002), nos casos em que a alvenaria é construída com unidades de baixa resistência, ou seja, blocos de baixa resistência, a adesão pode apresentar resistência à tração igual ou superior à do próprio bloco. Nestes casos, pode-se falar em homogeneidade e isotropia do material com certa segurança, por outro lado, a resistência da alvenaria será reduzida.

Vários fatores influenciam as propriedades da alvenaria: anisotropia, dimensão e propriedades dos blocos e da argamassa, espessura e arranjo das juntas verticais e horizontais, qualidade da mão de obra. Tudo isso faz com que a modelagem numérica da alvenaria se torne extremamente trabalhosa, principalmente dependendo do nível de precisão necessária. Em geral, na modelagem numérica são utilizados dois modelos: micro, que pode ser simplificada, e macromodelagem, conforme exemplificado na figura abaixo.

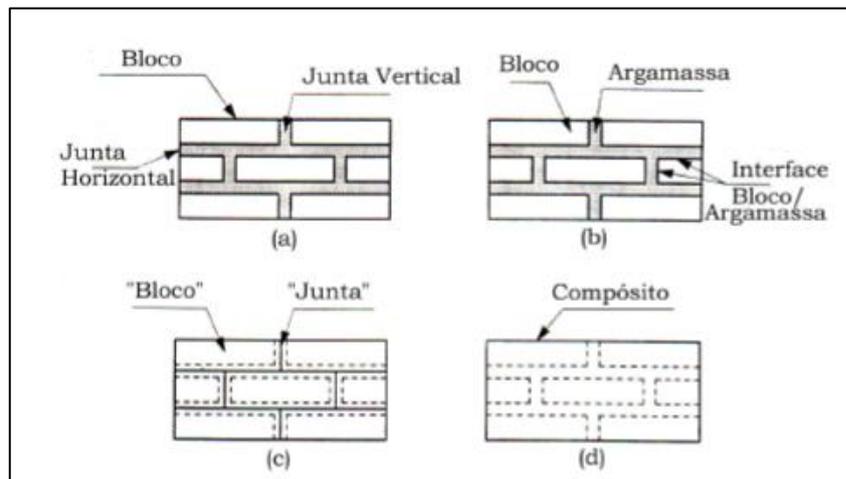


Figura 8 – Técnicas de Modelagem da Alvenaria

(a) Exemplar da Alvenaria; (b) Micromodelagem; (c) Micromodelagem simplificada; (d) Macromodelagem - Fonte: Peleteiro, Suzana Campana. (2002)

Na micromodelagem, como pode ser visto, os componentes da alvenaria são discretizados individualmente. Na macromodelagem os blocos são agregados à argamassa e ambos considerados como um compósito, a alvenaria é tratada com um meio homogêneo, contínuo e

anisotrópico. Para análises mais gerais da estrutura, como é o caso do presente trabalho, onde serão estudadas paredes com dimensões grandes o suficiente para garantir distribuições de tensões uniformes, a macromodelagem é mais adequada. Fundamentando esta afirmação tem-se o modelo apresentado por Page et al. (1985). Conforme descrito por Peleteiro (2002), “Page et al. (1985) apresentaram um modelo em elementos finitos para paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos sólidos, que incorpora características realistas do material deduzidas de um grande número de ensaios em painéis de alvenaria. Utiliza-se um modelo contínuo macroscópico para a relação tensão-deformação, consideram-se deformações não lineares e um critério de ruptura progressiva que leva em consideração a orientação das juntas. A ruptura pode ocorrer apenas nas juntas ou em um modelo envolvendo a unidade e as juntas. O programa de elementos finitos, para estado plano de tensões, é baseado em um elemento isoparamétrico de oito nós e é utilizado para simular um carregamento incremental e a ruptura progressiva das paredes de alvenaria sujeitas a um carregamento no seu plano. A eficiência do programa é demonstrada comparando-se o comportamento nos resultados numéricos com os valores obtidos nos ensaios experimentais obtidos em cinco pórticos de aço preenchidos com unidades de alvenaria. A grande vantagem do modelo apresentado é que as propriedades médias, que incluem a influência tanto da unidade quanto das juntas, foram determinadas em ensaios de laboratório. Isto significa que uma rede de elementos relativamente pobre pode ser utilizada, não havendo necessidade de se discretizar a unidade e a argamassa separadamente. Isto é uma grande vantagem computacional na análise de grandes painéis de alvenaria, devido à simplificação na geração da rede e economia no tempo de processamento.”

Além do trabalho de Page et al (1985), é possível obter informações em outros diversos trabalhos disponíveis na literatura mundial para análise de alvenaria. A escolha depende do objetivo e do grau de precisão necessária. Neste trabalho optou-se pela macromodelagem, modelo homogeneizado, com comportamento linear isotrópico. Como já dito, é um modelo adequado para estudo do comportamento global da estrutura, usando uma modelagem mais simples e um tempo de processamento consideravelmente menor que o modelo discreto. Como desvantagens, em se tratando de termos locais, podem ser encontradas grandes diferenças. O modelo não é capaz de encontrar picos de tensões em regiões localizadas, que o modelo discreto consegue. Como este não é o foco do presente trabalho, esta desvantagem não é significativa.

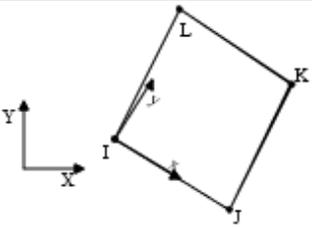
3 ANÁLISE ESTRUTURAL ATRAVÉS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS - MEF

3.1 Introdução

Para uma análise numérica em elementos finitos, existem alguns parâmetros que precisam ser analisados e definidos para garantir a confiabilidade dos resultados. Na estrutura em questão, a definição destes parâmetros consiste, basicamente, no que se segue:

- a) Escolha dos elementos para discretização das alvenarias e lajes:
- Para discretização das paredes e das lajes foram utilizados os elementos de placas disponíveis no Strap. O comportamento destes elementos já é bastante conhecido e suas propriedades básicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos elementos para discretização das paredes e lajes

	<p>a) Elemento de chapa 2D</p> <p>b) Pode ser utilizado como elemento plano (EPT ou EPD) ou elemento axissimétrico.</p> <p>c) Possui 4 nós com 2 graus de liberdade cada um: U_x e U_y.</p>
---	---

Fonte: Barbosa, Palmira Cordeiro. (2000)

- b) Definição das propriedades dos elementos utilizados na discretização:
- As malhas foram geradas automaticamente pelo *software* a partir da definição dos nós das extremidades e das dimensões dos lados dos elementos. Foram utilizados elementos quadrados com 25cm de lado, aproximadamente, e 14cm de espessura para alvenaria e 10cm para laje de concreto. Demais propriedades encontram-se descritas na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades dos elementos

Propriedade	Alvenaria	Concreto
Módulo de Elasticidade (MPa)	4000	25000
Coefficiente de Poisson	0,2	0,2
Peso Específico (kN/m^3)	14,0	25
Espessura (cm)	14	10

c) Definição de restrições que simulem de forma eficiente os apoios das alvenarias:

- A consideração das restrições no sistema tem muita influência nos resultados finais e, por isso, deve ser bem analisada. Como o objetivo deste trabalho é comparar tensões entre a análise numérica e as analíticas, as restrições devem ser similares às consideradas nestes casos, para não haver acréscimo nas diferenças entre resultados. Sendo assim, optou-se por utilizar apoios contínuos e rígidos para simular o apoio das paredes.

Existem ainda outros fatores na modelagem numérica que, devido ao enfoque do trabalho, não foram aprofundados, mas, de certa forma, já foram tratados no capítulo 2.

- a) A alvenaria é considerada como material homogêneo, ou seja, não há uma discretização diferenciada para blocos e argamassas;
- b) A alvenaria e o concreto armado são considerados como materiais isotrópicos.

3.2 Projeto Arquitetônico

A edificação em estudo neste trabalho tem uma arquitetura razoavelmente simples, trata-se de uma edificação residencial em alvenaria estrutural, área construída de aproximadamente 188m², composta por dez pavimentos tipo, com quatro apartamentos por andar, pé-direito de 2,80m, mais a caixa de escada. A Fig. 9 apresenta a planta-baixa do pavimento tipo e a Fig. 10 apresenta a numeração das paredes.

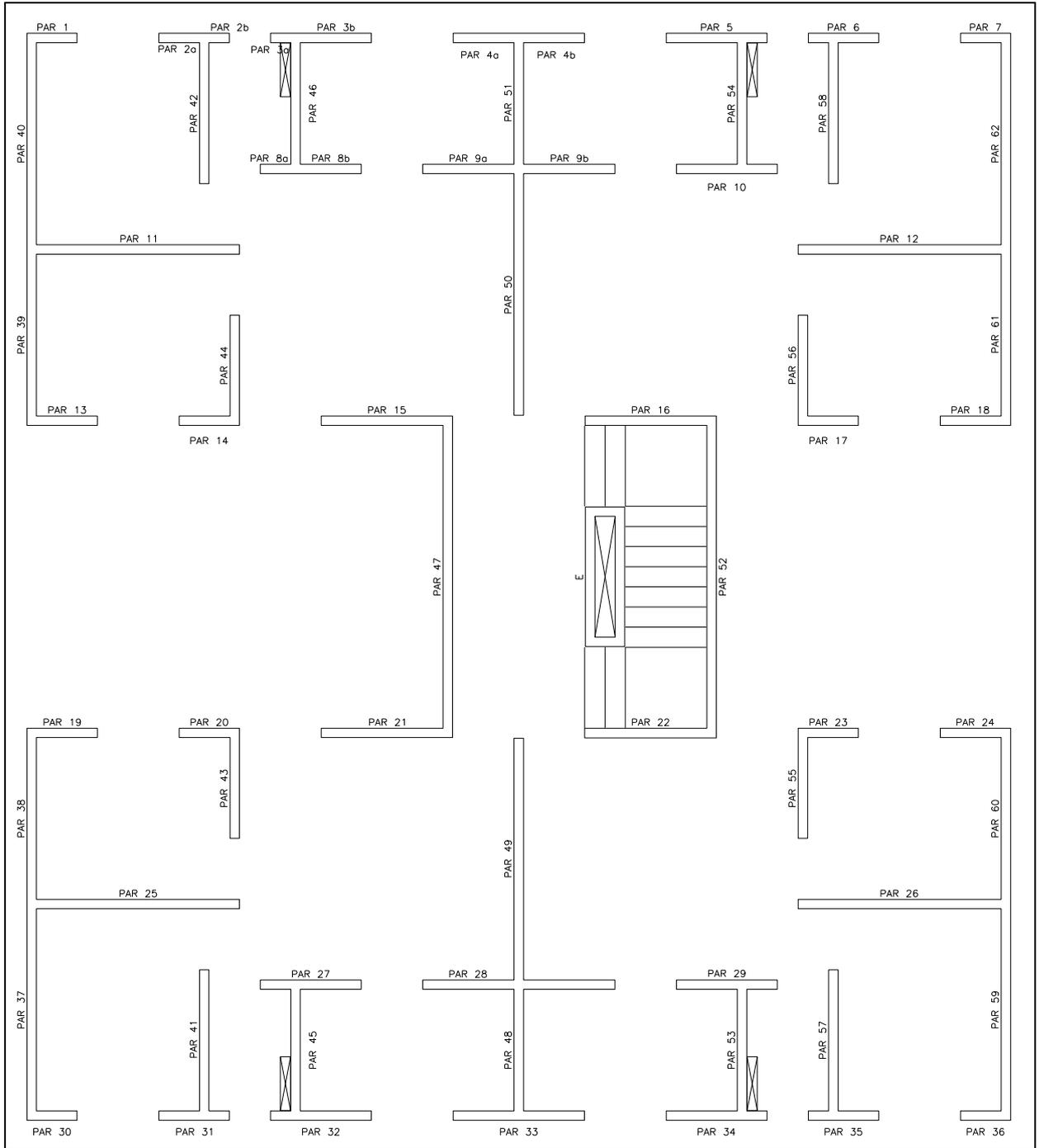


Figura 10 – Projeto arquitetônico – Planta Baixa – Numeração das Paredes

A contribuição das paredes Par. 47, Par. 52 e E não foram consideradas em nenhuma das análises, por questões de simplificação, conforme descrito no próximo item.

3.3 Modelo Estrutural

Levando em consideração as simetrias existentes na arquitetura e a limitação no número de nós e elementos, a estrutura modelada no Strap foi simplificada para um apartamento por andar. Conforme dito anteriormente, as alvenarias foram modeladas com 14cm de espessura,

com exceção das paredes 50 e 51, que foram modeladas com 7cm, para que a inércia das mesmas fosse coerente com a simplificação adotada. As lajes foram modeladas com 10cm de espessura.

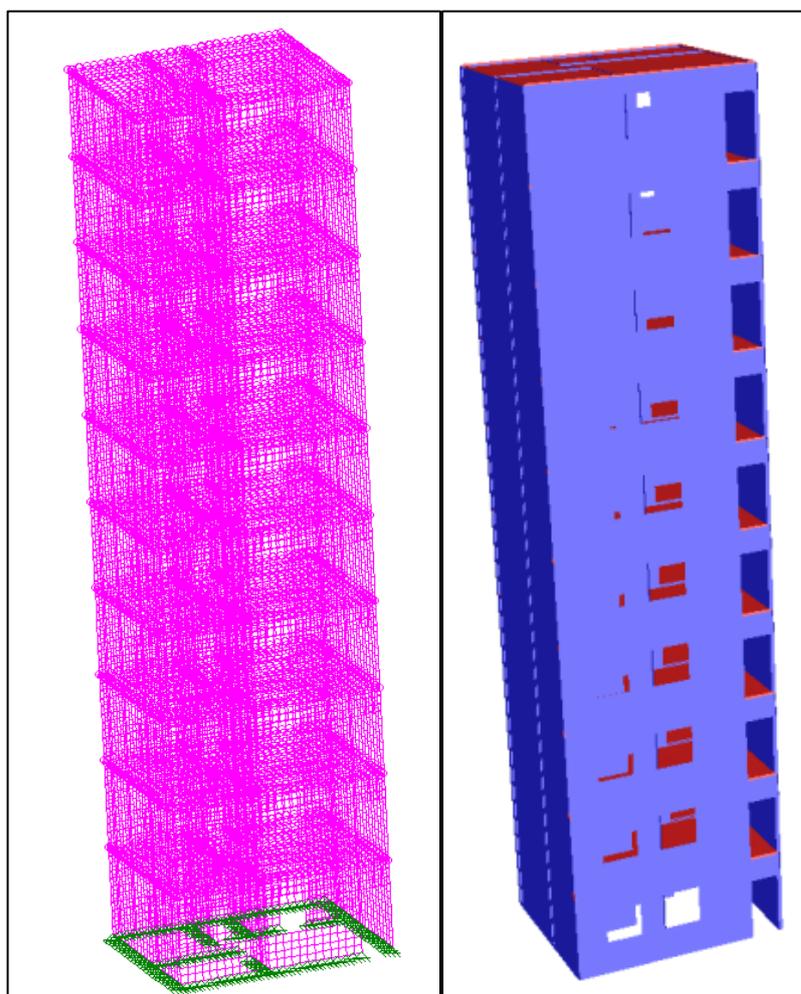


Figura 11 – Modelo Estrutural

3.4 Carregamento

A Tabela 3 mostra os carregamentos aplicados no modelo calculado:

Tabela 3 – Carregamentos

N°	Título
 1	PP
 2	SC
 3	Vento em X
 4	Vento em Y
 5	Desaprumo em X
 6	Desaprumo em Y

O peso próprio (PP) é calculado automaticamente pelo *software* Strap, a partir do peso específico do material.

Como sobrecarga (SC) utilizou-se $5,0 \text{ kN/m}^3$ aplicada nas lajes de todos os pavimentos.

Para o vento, utilizaram-se os parâmetros estabelecidos pela NBR-6123 - Forças Devidas ao Vento em Edificações e as pressões de obstrução foram aplicadas ao longo de todos os pavimentos, em x e em y, separadamente. Segundo SILVA (1996), em termos de análise do efeito do vento em uma edificação é necessário determinar a componente da força global na direção do vento, a chamada força de arrasto, dada pela seguinte equação:

$$F = C_a \times q \times A_e \quad (\text{Equação 1})$$

Em que,

q : pressão de obstrução (N/m^2)

A_e : área da superfície onde o vento atua (m^2)

C_a : coeficiente de arrasto

O coeficiente de arrasto (C_a) depende da direção e do regime do vento, podendo ser de baixa ou alta turbulência. Neste trabalho foi considerado vento de alta turbulência.

A pressão de obstrução (q) é calculada através da equação:

$$q = 0,613 \times v_k^2 \quad (\text{Equação 2})$$

Em que,

v_k : velocidade característica do vento (m/s)

A velocidade característica é obtida pela equação:

$$v_k = S_1 \times S_2 \times S_3 \times v_0 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que,

v_0 = velocidade básica do vento

S_1 = fator topográfico

S_2 = fator de rugosidade e regime

S_3 = fator estatístico

Tabela 4 – Pressão de obstrução

Pavimento	S1	S2	S3	v_k (m/s)	q (N/m ²)
1º	1,00	0,72	1,00	21,60	286
2º	1,00	0,72	1,00	21,60	286
3º	1,00	0,72	1,00	21,60	286
4º	1,00	0,73	1,00	21,90	294
5º	1,00	0,76	1,00	22,80	319
6º	1,00	0,78	1,00	23,40	336
7º	1,00	0,80	1,00	24,00	353
8º	1,00	0,82	1,00	24,60	371
9º	1,00	0,83	1,00	24,90	380
10º	1,00	0,85	1,00	25,50	399

A força de arrasto foi calculada pelo Strap, utilizando $C_{ax} = 0,97$ e $C_{ay} = 0,94$.

Já a consideração do desaprumo foi feita tomando-se por base a norma alemã DIN 1053 - Alvenaria: Cálculo e Execução. Sua prescrição para esse caso é bastante razoável, sendo o ângulo para o desaprumo do eixo da estrutura tomado em função da altura da edificação, conforme o que se apresenta na equação 4.

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

Em que,

φ : ângulo em radianos

H: altura da edificação em metros = 29m

$$\varphi = \frac{1}{100\sqrt{29}} = 0,00185 \quad (\text{Equação 5})$$

Como mencionado, este procedimento é razoável, pois o ângulo de desaprumo decresce em relação à altura da edificação. Isso é o que se espera no caso de uma edificação, pois a probabilidade de erros de prumo dos pavimentos sempre para o mesmo lado é relativamente pequena. Através do ângulo φ , pode-se determinar uma ação horizontal equivalente, a ser aplicada ao nível de cada pavimento, através da equação 2.

$$F_d = \Delta P x \varphi \quad (\text{Equação 6})$$

Em que,

F_d : força horizontal equivalente ao desaprumo

ΔP : peso total do pavimento considerado = 380kN

$$F_d = 380 \times 0,00185 = 0,706 \text{ kN} \quad (\text{Equação 7})$$

Essas forças aparecem esquematizadas na figura a seguir.

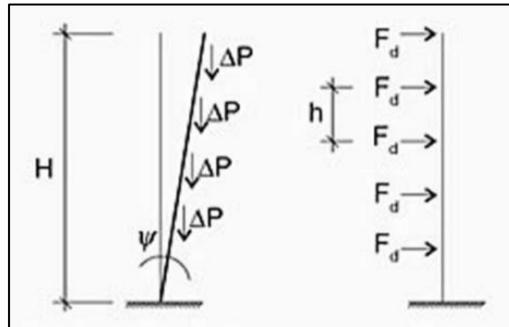


Figura 12 – Ação Horizontal Equivalente para Consideração do Desaprumo
Fonte: Ramalho e Corrêa (2003)

Para aplicação no Strap, as forças de desaprumo foram divididas pelo número de nós dos elementos, em cada direção, e aplicadas em cada um dos pavimentos conforme esquema da figura anterior.

$$F_{dx} = \frac{0,706 \text{ kN}}{23 \text{ nós}} = 0,0307 \text{ kN/nó} \quad (\text{Equação 8})$$

$$F_{dy} = \frac{0,706 \text{ kN}}{29 \text{ nós}} = 0,024 \text{ kN/nó} \quad (\text{Equação 9})$$

3.5 Resultados

As imagens e tabelas abaixo correspondem à saída de resultados do *software* Strap.

3.5.1 Tensões normais decorrentes das cargas verticais

Cargas verticais: Peso próprio da estrutura + sobrecarga

- Paredes 1@4

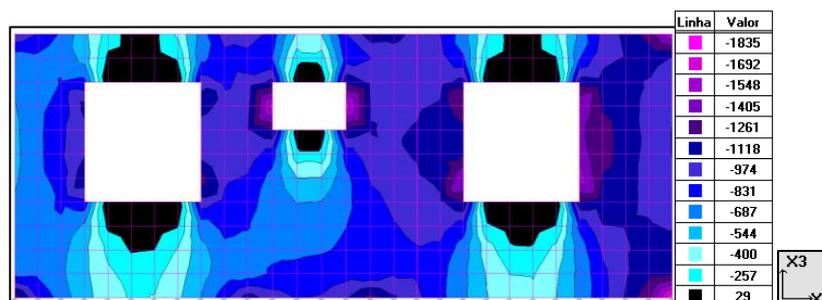


Figura 13 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento

- Paredes 8 e 9

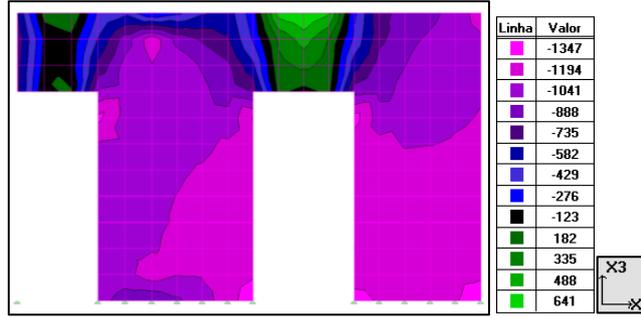


Figura 14 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 8 e 9 – 1º Pavimento

- Parede 11

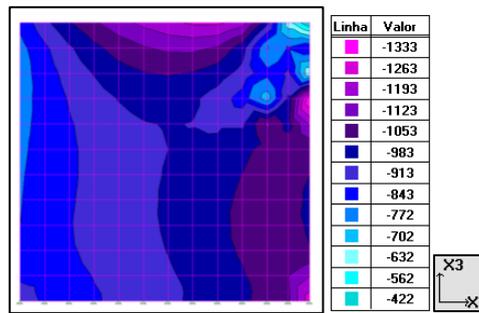


Figura 15 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 11 – 1º Pavimento

- Paredes 13@15

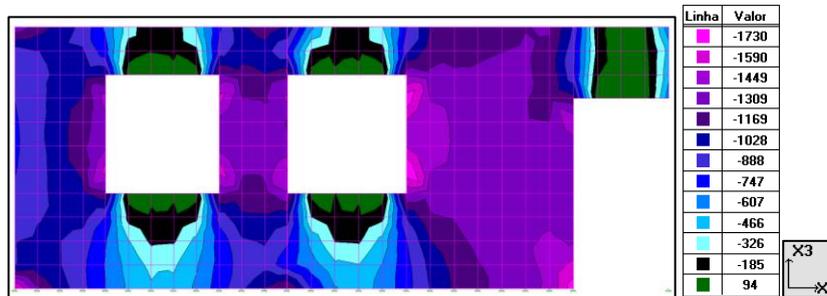


Figura 16 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 13@15 – 1º Pavimento

- Paredes 39 e 40

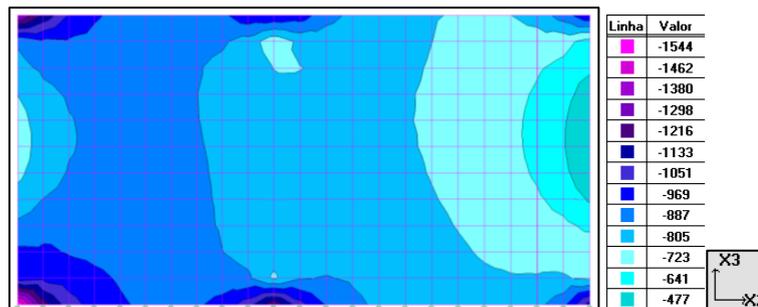


Figura 17 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 39 e 40 – 1º Pavimento

- Parede 42

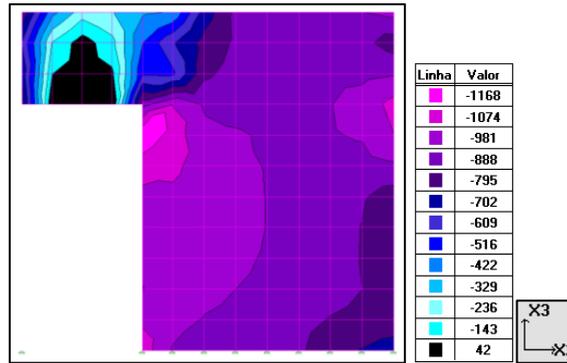


Figura 18 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 42 – 1º Pavimento

- Parede 44

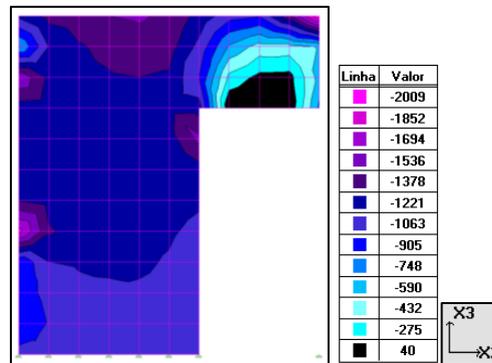


Figura 19 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 44 – 1º Pavimento

- Parede 46

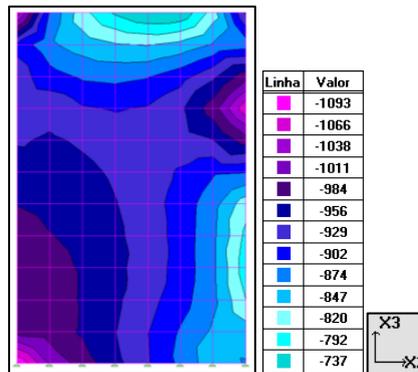


Figura 20 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 46 – 1º Pavimento

- Paredes 50 e 51

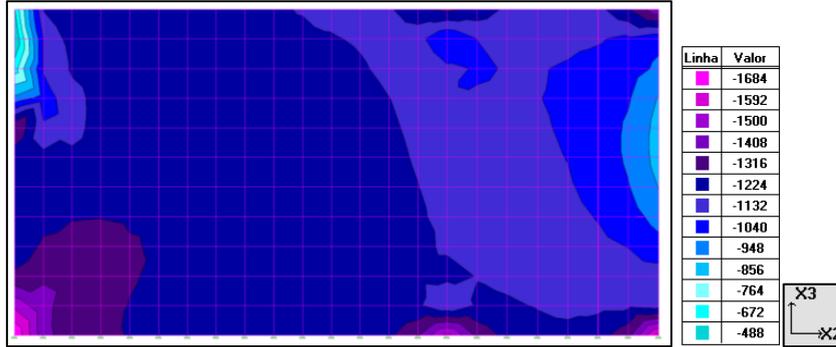


Figura 21 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 50 e 51 – 1º Pavimento

3.5.2 Tensões normais e de cisalhamento decorrentes das cargas horizontais aplicadas em X – vento e desaprumo

Cargas horizontais: Vento em X + Desaprumo em X

- Paredes 1@4

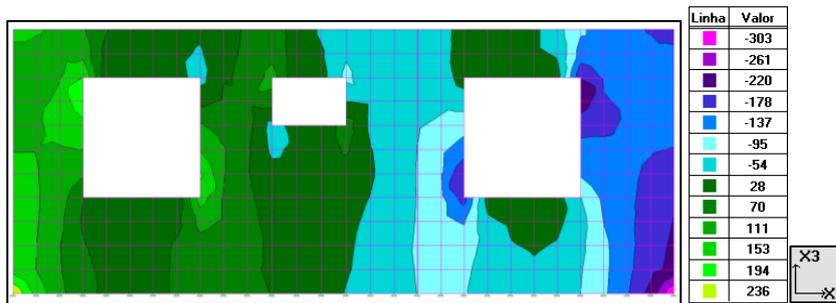


Figura 22 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento

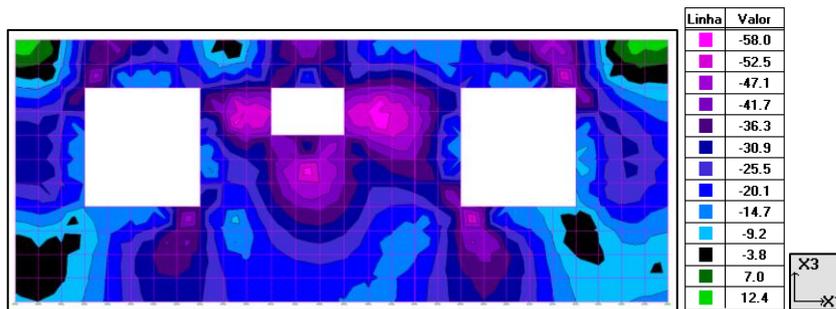


Figura 23 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento

- Paredes 8 e 9

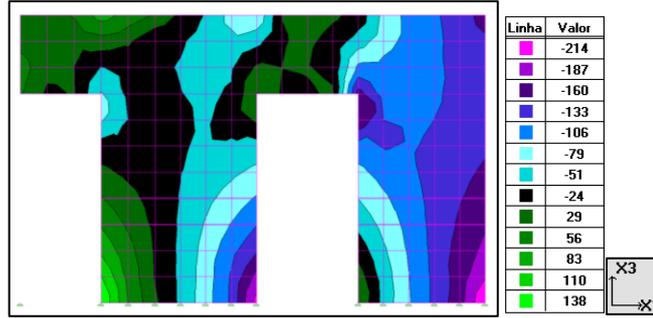


Figura 24 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 8 e 9 – 1º Pavimento

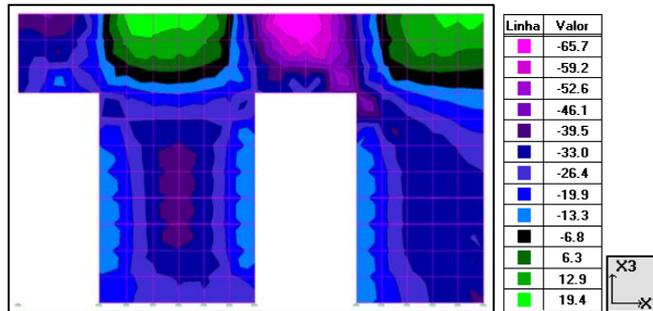


Figura 25 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Paredes 8 e 9 – 1º Pavimento

- Parede 11

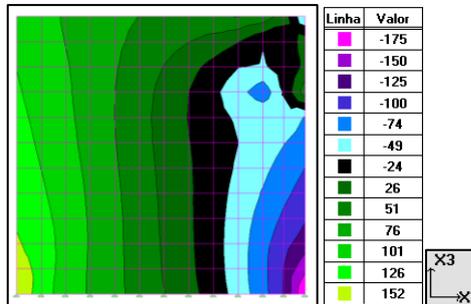


Figura 26 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 11 – 1º Pavimento

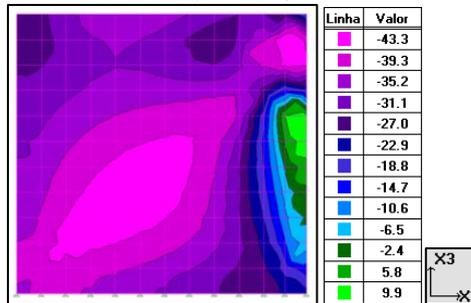


Figura 27 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Parede 11 – 1º Pavimento

- Paredes 13@15

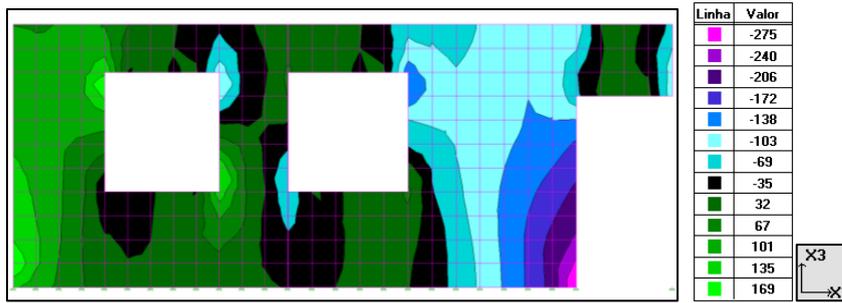


Figura 28 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 13@15 – 1º Pavimento

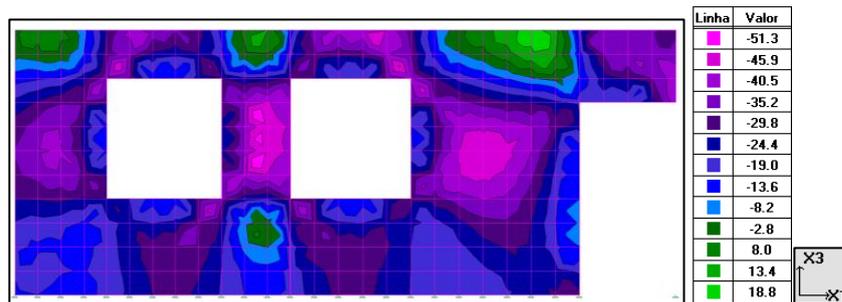


Figura 29 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Paredes 13@15 – 1º Pavimento

3.5.3 Tensões normais e de cisalhamento decorrentes das cargas horizontais aplicadas em Y – vento e desaprumo

Cargas horizontais: Vento em Y + Desaprumo em Y

- Paredes 39 e 40

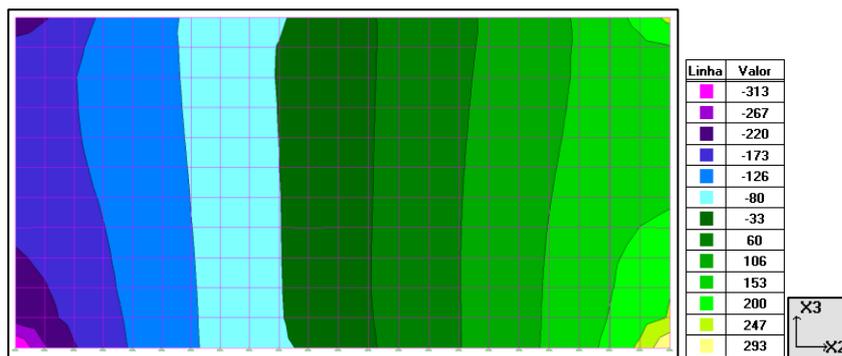


Figura 30 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 39 e 40 – 1º Pavimento

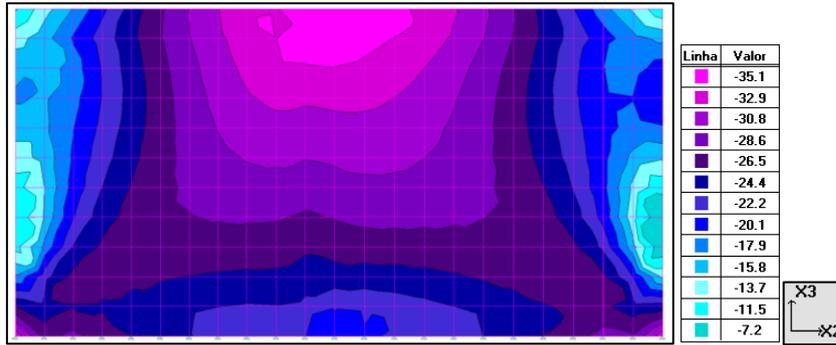


Figura 31 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Paredes 39 e 40 – 1º Pavimento

- Parede 42

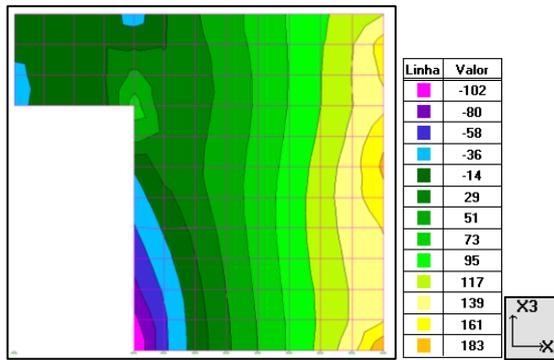


Figura 32 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 42 – 1º Pavimento

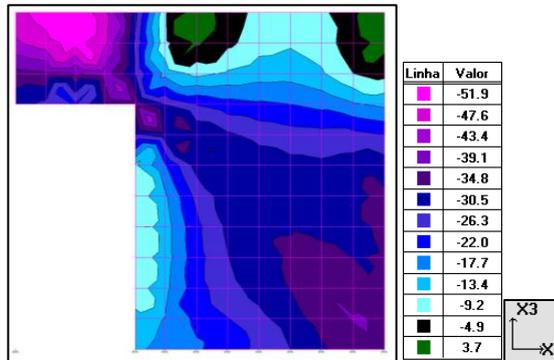


Figura 33 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Parede 42 – 1º Pavimento

- Parede 44

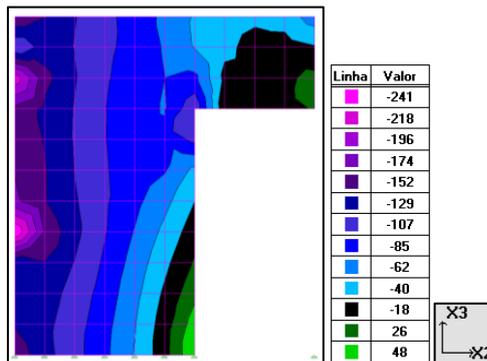


Figura 34 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 44 – 1º Pavimento

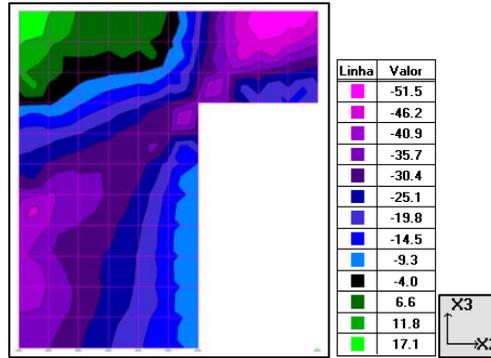


Figura 35 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Parede 44 – 1º Pavimento

- Parede 46

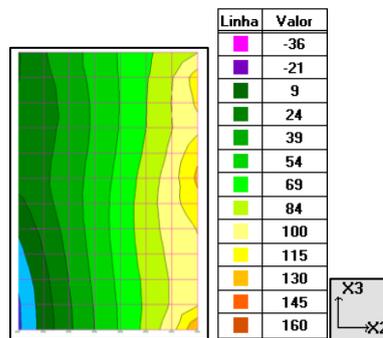


Figura 36 – Tensão Normal (kN/m²) – Parede 46 – 1º Pavimento

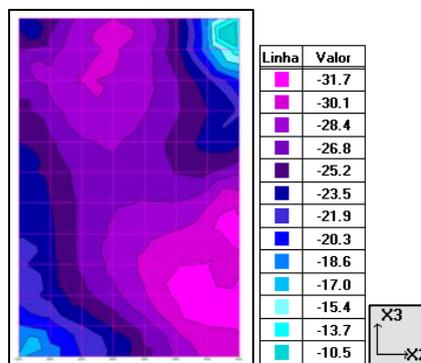


Figura 37 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Parede 46 – 1º Pavimento

- Paredes 50 e 51

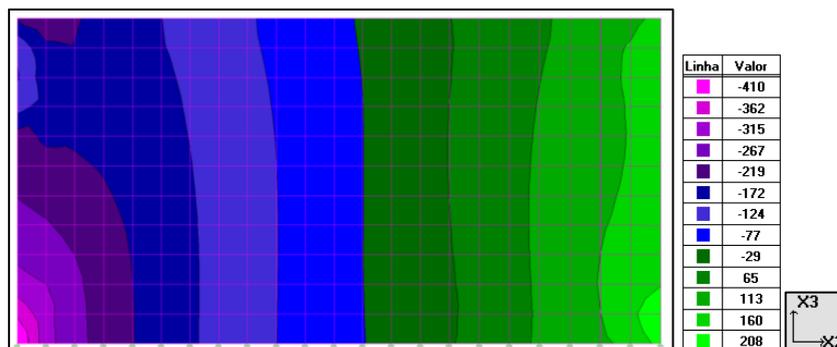


Figura 38 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 50 e 51 – 1º Pavimento

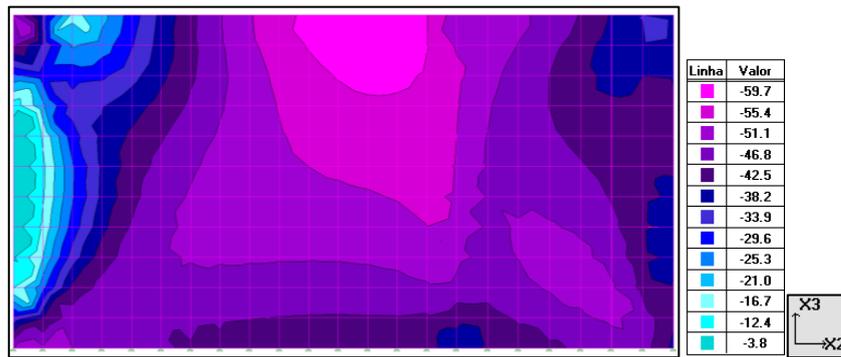


Figura 39 – Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Paredes 50 e 51 – 1º Pavimento

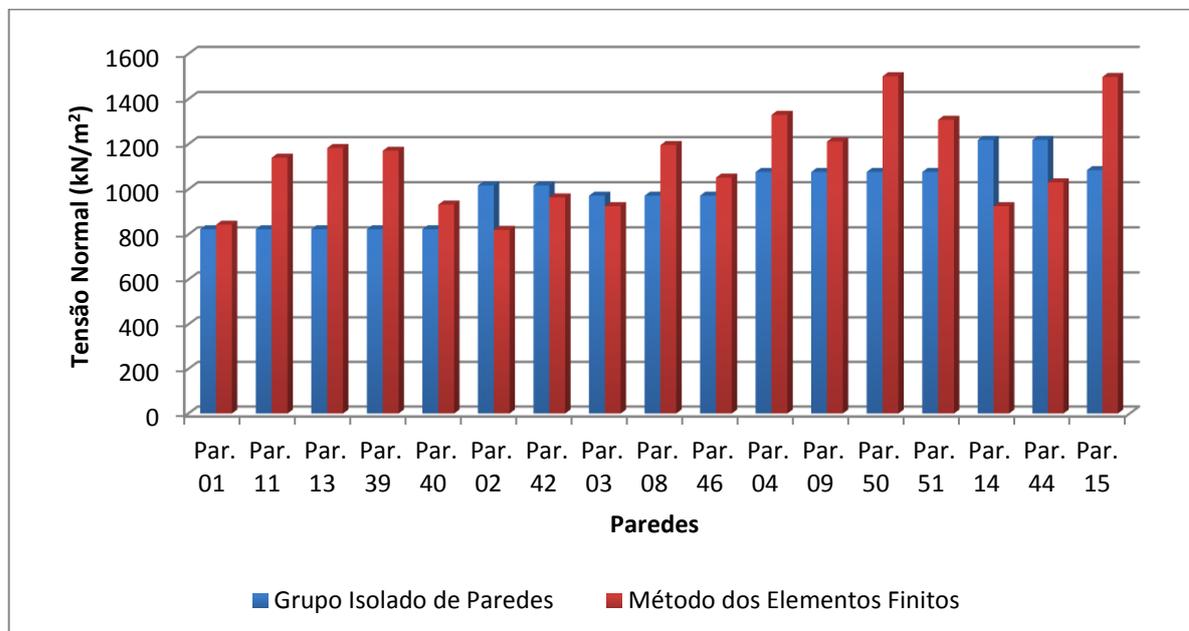
4 COMPARAÇÕES E DISCUSSÃO

Não era escopo deste trabalho apresentar o cálculo das tensões normais e de cisalhamento encontradas através do modelo de grupos isolados de paredes e do modelo de paredes isoladas com abas. Estes valores serão apenas informados nas tabelas e gráficos comparativos. Salienta-se que para o cálculo dos mesmos não foram consideradas as contribuições das paredes Par. 47, Par. 52 e E, para que houvesse compatibilidade com a simplificação adotada no modelo tridimensional. Devido a esta simplificação, também, aos valores das tensões de cisalhamento calculadas pelo MEF, indicadas nas tabelas a seguir, são iguais à metade dos valores das tensões cisalhantes retiradas do *software*.

A Tabela 5 e a Fig. 40 apresentam os valores de tensão normal nas paredes, no pavimento térreo, para os esforços verticais, calculados através do modelo de Grupo Isolado de Paredes e do Método dos Elementos Finitos. Já a Tabela 6 e as Figs. 41 e 42 apresentam os valores de tensão normal e de cisalhamento nas paredes, também no pavimento térreo, para os esforços horizontais considerados – vento e desaprumo – na direção X. A Tabela 7 e as Figs. 43 e 44 apresentam os mesmos tipos de tensão – normal e de cisalhamento – porém, para os esforços horizontais em Y.

Tabela 5 – Tensões Normais Decorrentes dos Esforços Verticais

Grupos	Paredes	Grupo Isolado de Paredes	Método dos Elementos Finitos
		Tensão Normal (kN/m ²)	Tensão Normal (kN/m ²)
Grupo I	Par. 01	823	843
	Par. 11	823	1140
	Par. 13	823	1183
	Par. 39	823	1171
	Par. 40	823	932
Grupo II	Par. 02	1017	820
	Par. 42	1017	964
Grupo III	Par. 03	972	925
	Par. 08	972	1196
	Par. 46	972	1052
Grupo IV	Par. 04	1077	1330
	Par. 09	1077	1212
	Par. 50	1077	1501
	Par. 51	1077	1308
Grupo V	Par. 14	1219	925
	Par. 44	1219	1031
Grupo VI	Par. 15	1085	1498

Figura 40 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m²) – Esforços Verticais

Pelos resultados apresentados na Tabela 5 e Fig. 40, percebe-se que as tensões normais devidas aos esforços verticais obtidas pelos dois procedimentos são razoavelmente diferentes. Observa-se que, em cerca de 70% das paredes, as tensões normais calculadas pelo Método

dos Elementos Finitos são maiores que as calculadas pelo modelo de Grupo Isolado de Paredes. Esse percentual pode ser justificado por concentrações de tensões. Este assunto será tratado mais adiante. No processo analítico a distribuição das tensões é um pouco mais homogênea, justamente porque as paredes são agrupadas e as tensões igualadas, o que dá a sensação, ao se olhar para o gráfico, de que as tensões estão mais bem distribuídas entre as paredes.

Tabela 6 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em X

Paredes	Paredes Isoladas com Abas		Método dos Elementos Finitos	
	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)
Par. 01	357	4,8	216	3,0
Par. 02	309	4,2	58	11,8
Par. 03	594	9,5	58	12,9
Par. 04	656	12,7	216	3,9
Par. 08	561	8,3	154	12,8
Par. 09	962	27,3	177	16,6
Par. 11	1422	68,0	138	18,4
Par. 13	490	8,3	126	8,5
Par. 14	178	6,5	42	7,9
Par. 15	658	12,6	231	13,2

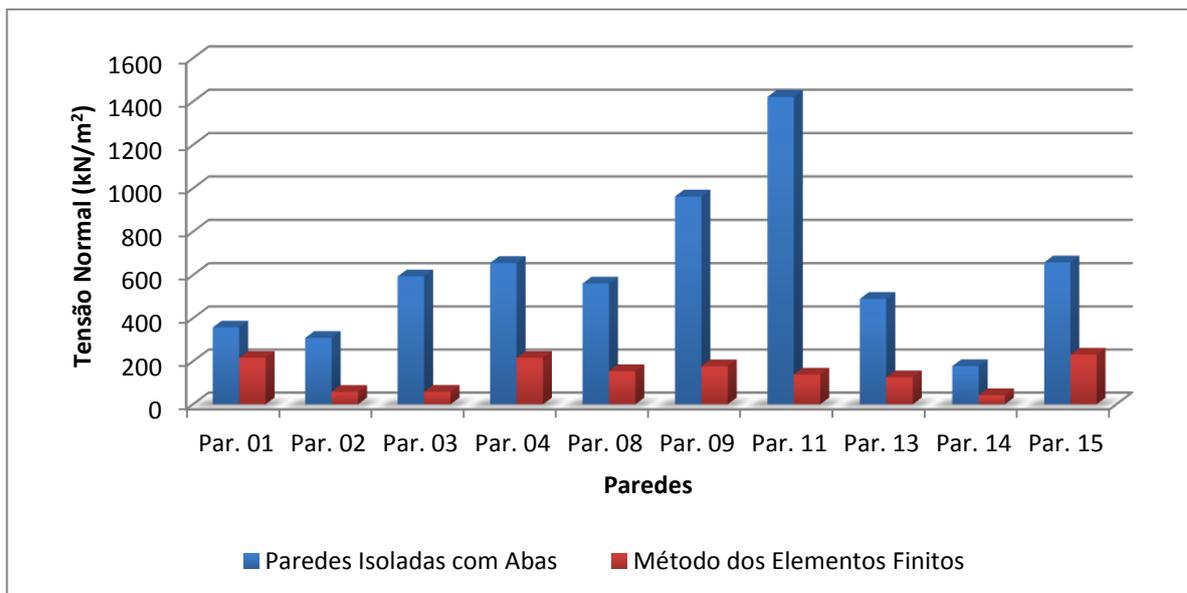


Figura 41 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m²) – Esforços em X

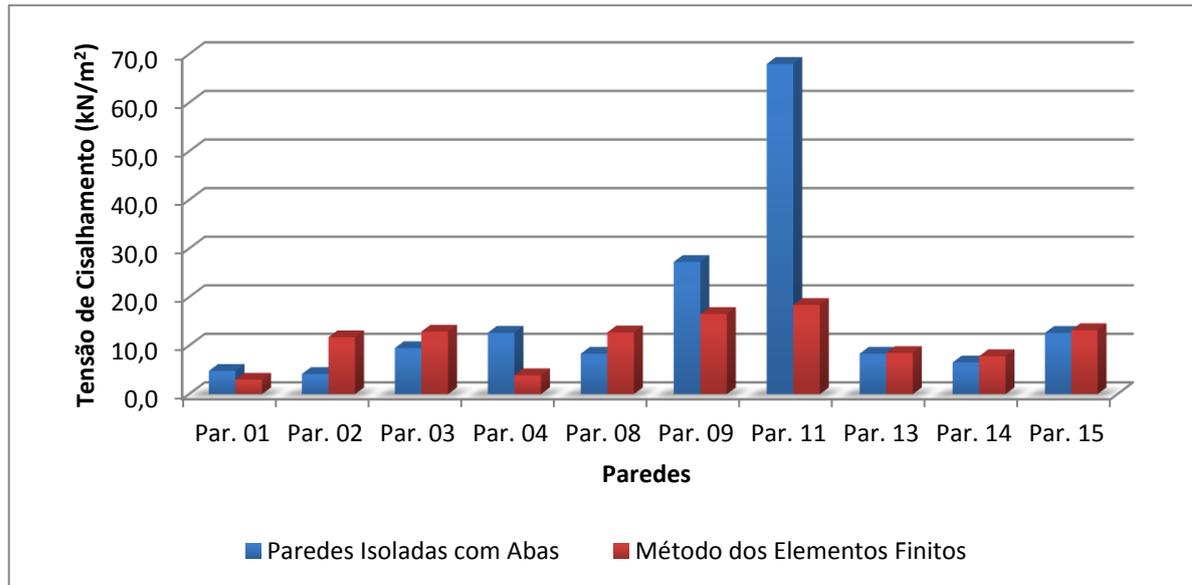
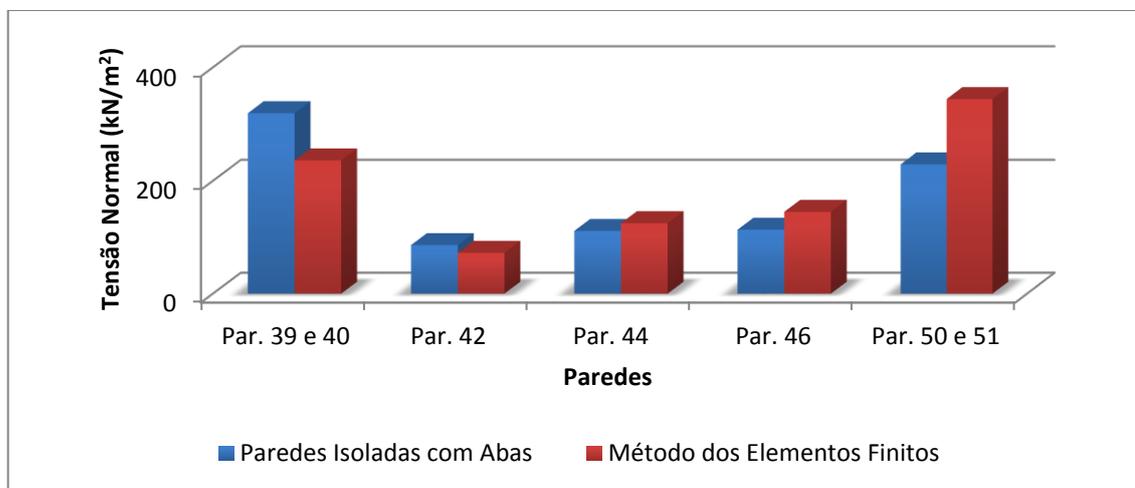
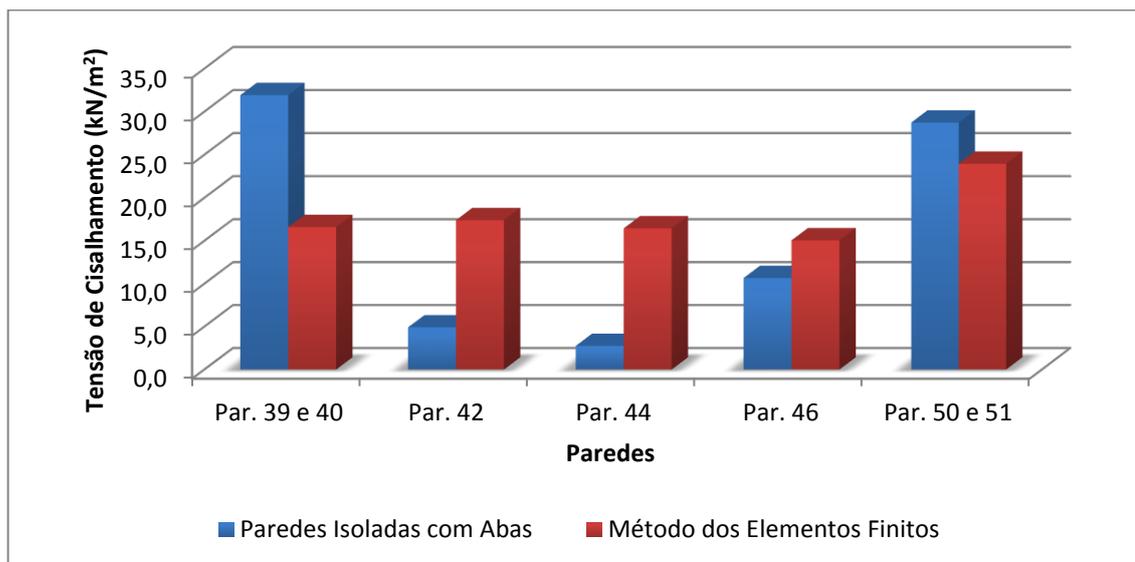


Figura 42 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Esforços em X

Para as tensões decorrentes dos esforços horizontais, direção X, a diferença entre os dois métodos continua existindo, conforme observa-se na Tabela 6 e Figs. 41 e 42. Entretanto, a tensão normal calculada pelo MEF, neste caso, é menor em 100% das paredes e a tensão cisalhante é menor em 50% das paredes. As paredes mais solicitadas no método analítico apresentam decréscimos significativos em suas tensões cisalhantes quando analisadas no MEF, a exemplo da parede Par.11, que apresenta a maior tensão cisalhante com 68kN/m² e 18,4kN/m², segundo os modelos analítico e numérico, respectivamente, resultando numa diferença percentual de 73%. Com relação à tensão normal essa variação chega a 90%, também na parede Par.11. Há uma tendência de redistribuição com o refinamento da modelagem. Percebe-se, pelas Figs. 41 e 42, que no MEF há uma distribuição muito mais homogênea das tensões. Essa homogeneidade pode ser justificada pela interação entre as paredes, considerando, inclusive, a rigidez dos lintéis, o que não ocorre no método de Paredes Isoladas com Abas.

Tabela 7 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em Y

Paredes	Paredes Isoladas com Abas		Método dos Elementos Finitos	
	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)
Par. 39 e 40	319	31,9	236	16,6
Par. 42	86	4,9	72,4	17,4
Par. 44	111	2,8	125	16,5
Par. 46	113	10,7	145	15,1
Par. 50 e 51	229	28,7	344	24,0

Figura 43 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m²) – Esforços em YFigura 44 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Esforços em Y

Como nas outras duas análises, tensões normais decorrentes dos esforços verticais e tensões normais e de cisalhamento decorrentes dos esforços horizontais em X, as tensões decorrentes

dos esforços horizontais em Y também se mostram diferentes para os dois métodos de cálculo, conforme Tabela 7 e Figs. 43 e 44. Nesta direção, a tensão normal calculada pelo MEF é maior em 60% das paredes, ou grupos de paredes. Este percentual é o mesmo para a tensão de cisalhamento. Há uma maior homogeneidade na distribuição de tensões de cisalhamento para os esforços em Y calculadas através do MEF. Essa homogeneidade é menos acentuada na distribuição das tensões normais. Diferentemente da análise na direção X, não há uma regra para o comportamento da tensão cisalhante nas paredes mais solicitadas no método analítico. No grupo de paredes Par. 39 e 40 houve um decréscimo de 48%, mas, no grupo de paredes Par. 50 e 51 o decréscimo foi de 16%, de 28,7kN/m² para 24,0kN/m². Para a tensão normal também não se observa nenhuma regra.

Os gráficos e tabelas apresentados acima foram elaborados utilizando os valores máximos encontrados para as tensões em cada alvenaria, ou grupos de alvenaria, no nível térreo do edifício, conforme apresentado nas tabelas de resultados do *software*, no centro dos elementos.

A imagem a seguir exemplifica como o software fornece os valores de tensão no centro dos elementos, valores que foram utilizadas nas tabelas 5, 6 e 7, mostradas anteriormente. O resultado a seguir refere-se às tensões normais decorrentes dos esforços verticais nas paredes Par1@Par4. As imagens das demais tensões e paredes não estão contempladas neste trabalho.

Par.1										Par.2										Par.3										Par.4									
-765	-683	-532	304	-117	-56.8	-173	427	-700	-820	-749	512	-370	-557	-829	-934	-823	-865	-717	-435	-166	-47.6	-144	-411	-726	-931	-1042	-1196												
-615	-676	-622	266	2.76	-20.5	-3.8	-378	-770	-624	-800	389	7.26	-423	-671	-907	-891	-907	-863	-402	3.88	-17.8	18.9	-378	-893	-990	-993	-958												
-597	-670	-901						-1047	-856	-1229				-1288	-937	-922	-900	-1211						-1294	-1013	-983	-906												
-583	-724	-872						-905	-959	-1297				-1300	-968	-955	-1029	-1076						-1229	-1183	-980	-885												
-585	-735	-875						-901	-962	-912	425	16.6	418	-906	-970	-986	-1048	-1063						-1235	-1119	-992	-874												
-576	-730	-899						-960	-908	-756	486	-320	-488	-772	-911	-952	-1048	-1132						-1264	-1187	-976	-883												
-589	-669	-954						-1077	-770	-689	595	-499	-573	-725	-842	-905	-934	-1306						-1343	-1015	-975	-967												
-608	-675	-653	287	7.14	-18.6	5.71	-349	-744	-742	-668	698	-589	-634	-723	-806	-853	-913	-916	438	2.87	-25.4	7.48	-401	-930	-1010	-974	-949												
-636	-638	-534	319	-124	-51.8	-151	-378	-601	-679	-663	648	-649	-679	-727	-781	-829	-846	-742	469	-190	67.2	-170	448	-764	-944	-992	-991												
-651	-611	-493	342	-208	-165	-241	-396	-549	-629	-662	653	-709	-728	-737	-771	-813	-784	-664	475	-288	-205	-275	-469	-698	-884	-1010	-1046												
-843	-698	-511	373	-274	-248	-310	-441	-601	-768	-820	793	-795	-834	-989	-925	-863	-772	-643	488	-353	-296	-346	-498	-679	-871	-1059	-1330												

Figura 45 – Tensão Normal (kN/m²) – Paredes 1@4 – 1º Pavimento

Estes valores, em alguns casos, estão relacionados a uma concentração de tensão que não deve ser utilizada para dimensionar toda a alvenaria. Sendo assim, novas comparações foram feitas desconsiderando, onde possível, as concentrações de tensões que não são

representativas para a estrutura como um todo. A seguir estão apresentados os novos gráficos e tabelas.

Tabela 8 – Tensões Normais Decorrentes dos Esforços Verticais – Sem consideração da concentração

Grupos	Paredes	Grupo Isolado de Paredes	Método dos Elementos Finitos
		Tensão Normal (kN/m ²)	Tensão Normal (kN/m ²)
Grupo I	Par. 01	823	658
	Par. 11	823	1020
	Par. 13	823	985
	Par. 39	823	1011
	Par. 40	823	871
Grupo II	Par. 02	1017	820
	Par. 42	1017	880
Grupo III	Par. 03	972	909
	Par. 08	972	1056
	Par. 46	972	970
Grupo IV	Par. 04	1077	1059
	Par. 09	1077	1152
	Par. 50	1077	1302
	Par. 51	1077	1190
Grupo V	Par. 14	1219	925
	Par. 44	1219	1031
Grupo VI	Par. 15	1085	1299

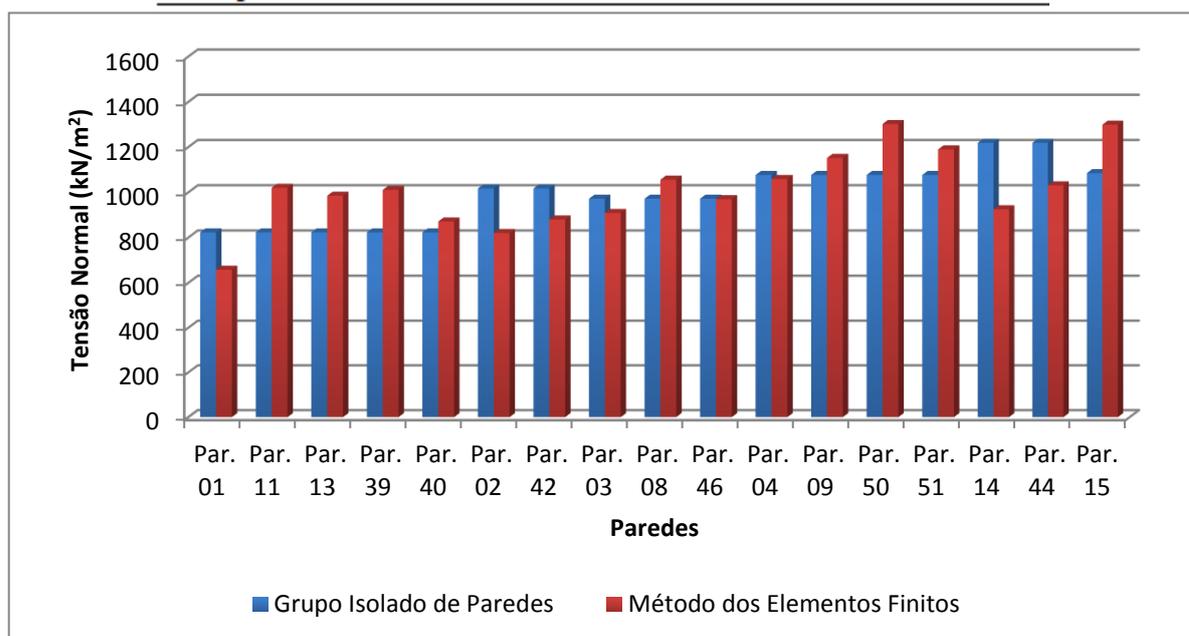


Figura 46 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m²) – Esforços Verticais - Sem consideração da concentração

As tensões normais calculadas pelo MEF continuam maiores do que as calculadas pelo Grupo Isolado de Paredes, entretanto, apenas em 53% das paredes. Anteriormente, levando em consideração a concentração de tensões, esse percentual era de 70%, aproximadamente. Além dessa redução, houve também uma redução na diferença entre os valores calculados pelos dois métodos.

Tabela 9 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em X - Sem consideração da concentração

Paredes	Paredes Isoladas com Abas		Método dos Elementos Finitos	
	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)
Par. 01	357	4,8	154	3,0
Par. 02	309	4,2	57	9,3
Par. 03	594	9,5	57	9,9
Par. 04	656	12,7	154	3,9
Par. 08	561	8,3	89	12,8
Par. 09	962	27,3	130	16,6
Par. 11	1422	68,0	85	18,4
Par. 13	490	8,3	91	8,5
Par. 14	178	6,5	42	7,9
Par. 15	658	12,6	165	12,0

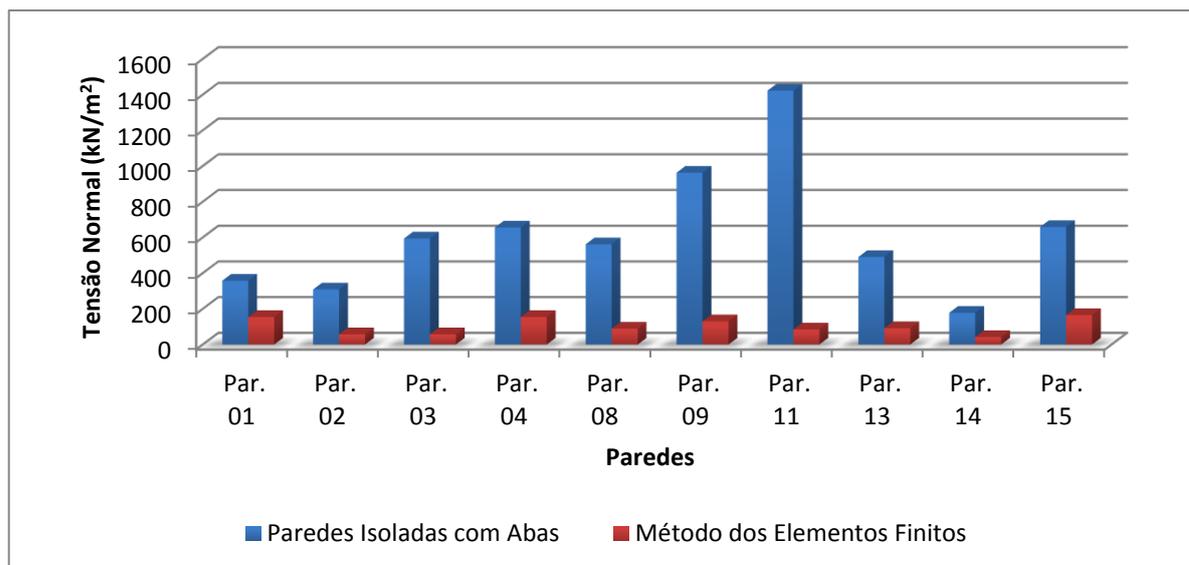


Figura 47 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m²) – Esforços em X - Sem consideração da concentração

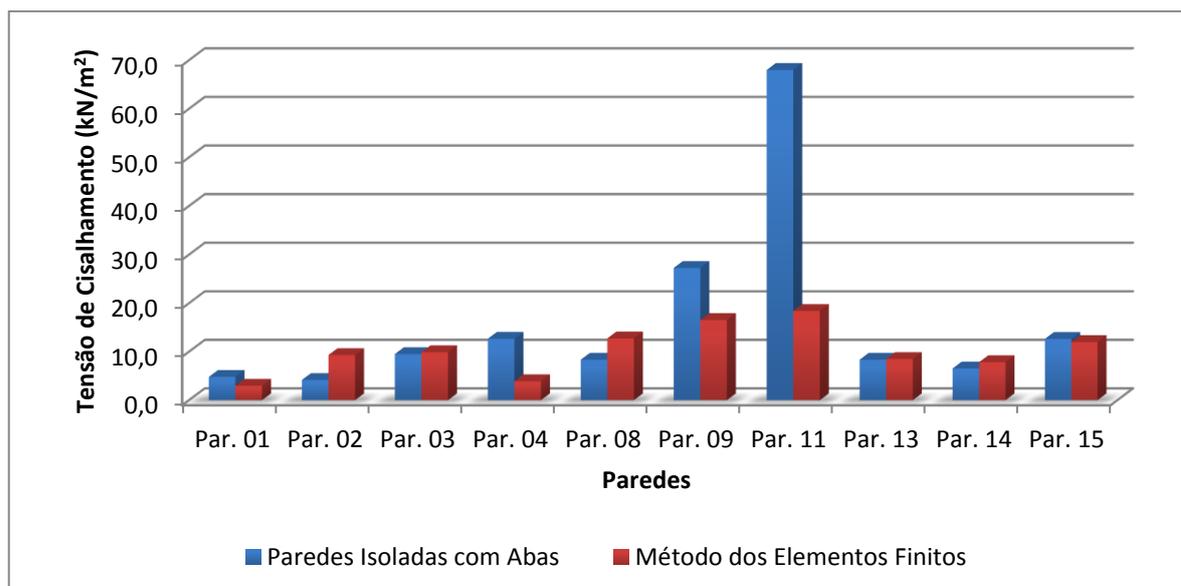


Figura 48 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Esforços em X - Sem consideração da concentração

A tensão normal calculada pelo MEF, considerando as concentrações de tensão, já era menor em 100% das paredes quando comparada com a tensão calculada pelo Método de Paredes Isoladas com Abas. Para a tensão de cisalhamento, o percentual também continua o mesmo, ou seja, 50%. Continua havendo uma maior homogeneidade na distribuição das tensões, no que diz respeito ao MEF. As paredes mais solicitadas no método analítico continuam apresentando decréscimos em suas tensões cisalhantes, as menos solicitadas, em sua maioria, apresentam acréscimo, resultando em uma distribuição mais homogênea das tensões.

Tabela 10 – Tensões Normais e de Cisalhamento Decorrentes dos Esforços em Y - Sem consideração da concentração

Paredes	Paredes Isoladas com Abas		Método dos Elementos Finitos	
	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)	Tensão Normal(kN/m ²)	Tensão de Cisalhamento (kN/m ²)
Par. 39 e 40	319	31,9	187	14,6
Par. 42	86	4,9	23,6	17,4
Par. 44	111	2,8	102	16,5
Par. 46	113	10,7	107,5	15,1
Par. 50 e 51	229	28,7	258	22,4

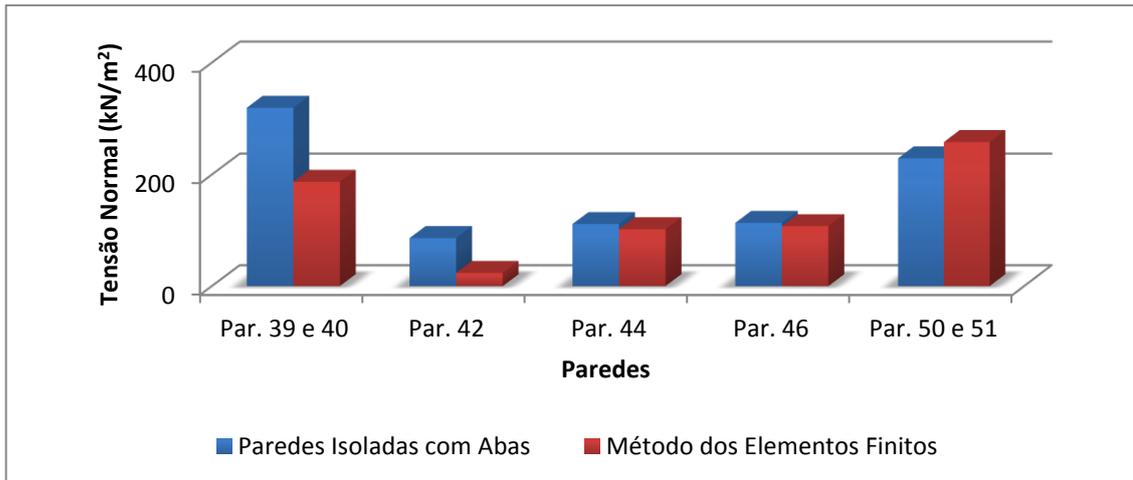


Figura 49 – Gráfico Comparativo da Tensão Normal (kN/m²) – Esforços em Y - Sem consideração da concentração

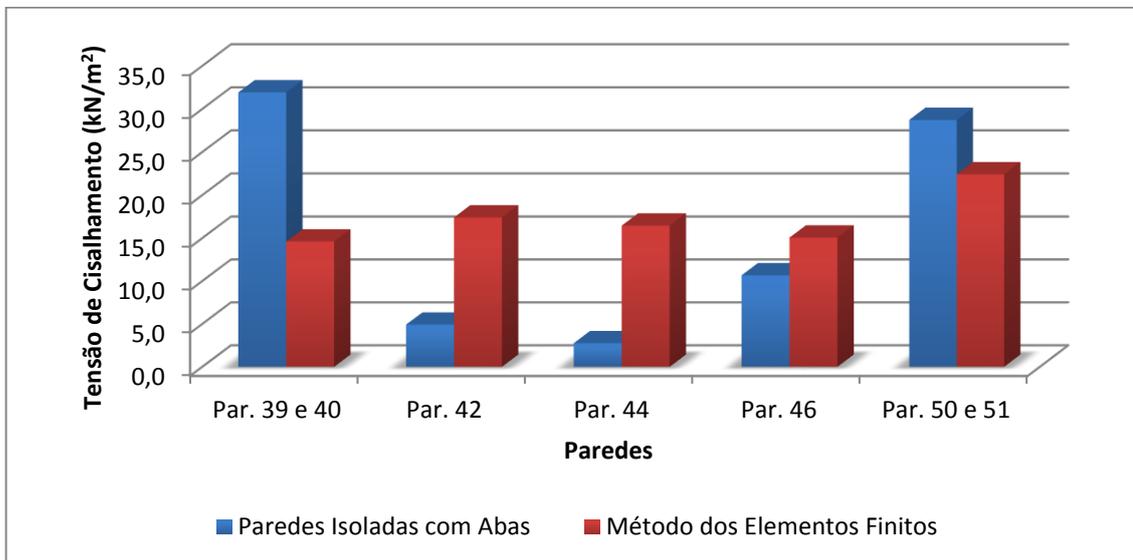


Figura 50 – Gráfico Comparativo da Tensão de Cisalhamento (kN/m²) – Esforços em Y - Sem consideração da concentração

A tensão normal calculada pelo MEF, considerando as concentrações de tensão, era maior em 60% das paredes quando comparada com a tensão calculada pelo Método de Paredes Isoladas com Abas. Com a desconsideração das concentrações, este percentual reduziu para 20%. No caso da tensão de cisalhamento, o percentual se mantém, em 60% das paredes ou grupos de paredes a tensão de cisalhamento é maior quando calculada pelo MEF. Continua havendo uma maior homogeneidade na distribuição das tensões, no que diz respeito ao MEF. Essa homogeneidade não é tão acentuada quando se analisa a distribuição das tensões normais. No grupo de paredes mais solicitadas, com relação às tensões de cisalhamento, Par. 39 e 40, houve um decréscimo de 54%, mas, no grupo de paredes Par. 50 e 51, o decréscimo foi de, 22%. Com relação à tensão normal, continua não se observando nenhuma regra.

5 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho consistia em comparar as tensões normais e de cisalhamento, devidas aos esforços verticais e horizontais atuantes em um edifício de dez pavimentos em alvenaria estrutural, analisadas através de modelos diferentes. Para tanto, foram analisados dois métodos analíticos – Grupo Isolados de Paredes e Paredes Isoladas com Abas – e um método numérico – Modelo Tridimensional em Elementos Finitos.

O MEF é um método extremamente interessante e amplamente utilizado na modelagem estrutural em geral, porém, apresenta alguns inconvenientes quando se trata de alvenaria, tais como: dificuldade na montagem dos dados e na interpretação dos resultados, além da definição de elementos que possam representar bem o material alvenaria. Dependendo das dimensões do edifício, a limitação de nós e elementos pode inviabilizar a modelagem da estrutura ou obrigar que esta seja simplificada, como ocorreu neste trabalho.

O estudo apresentado mostra a importância e influência que a modelagem pode produzir no comportamento da estrutura, apontando para a necessidade de refinamento dos modelos usualmente empregados na análise de edifícios em alvenaria estrutural. Percebe-se que ocorre uma tendência de redistribuição dessas tensões quando se trabalham com modelos mais refinados, como o numérico aqui utilizado. A distribuição das tensões de cisalhamento entre as paredes de contraventamento, por exemplo, apresentou resultados com diferenças significativas, obtendo-se, variação de mais de 70% na máxima solicitação. As diferenças encontradas nas tensões normais também são significativas. Em alguns casos, as tensões encontradas no MEF são maiores do que as encontradas nos métodos analíticos.

Analisando os três procedimentos, observa-se uma melhor representação do comportamento estrutural pelo procedimento numérico. Isso se deve à interação existente entre as paredes considerada por este método e não considerada pelos demais. As paredes de um edifício em alvenaria estrutural podem ser analisadas considerando-se que ocorre uma transmissão de esforços entre as mesmas, bastando para isso que a ligação/interseção entre elas seja capaz de desenvolver esses esforços de interação. A interação pode ocorrer entre paredes que se interceptem ou entre paredes ligadas por lintéis.

Pode-se afirmar que o modelo numérico garante resultados mais precisos em relação aos demais. Entretanto, uma das dificuldades apresentada pelo MEF, citada mais acima, e que

influencia nas variações de tensão encontradas no trabalho, é a avaliação dos resultados fornecidos pelo *software*. Dependendo da discretização dos elementos, do tipo de estrutura, do carregamento, entre outras considerações, o método pode apresentar grandes concentrações de tensões em algumas regiões, como, cantos/quinas, pontos de aplicação das cargas, especialmente as concentradas, pontos de inserção das restrições, entre outras. No trabalho puderam-se observar exemplos dessas concentrações, especialmente nos cantos e interseções de paredes, e a influência das mesmas nas tabelas e gráficos de comparação com os métodos analíticos. Essas concentrações, se usadas para dimensionar a estrutura como um todo, podem levar a um superdimensionamento do projeto, onerando o empreendimento. As mesmas devem ser analisadas pelo calculista para que este defina quais concentrações são representativas e quais podem ser desprezadas na ocasião do dimensionamento.

Salienta-se que, apesar do procedimento numérico ser mais preciso, não significa que os demais são incorretos. As comparações apenas indicam que estes poderiam ser aprimorados, de forma que os projetos fiquem cada vez mais bem dimensionados, seguros e de baixo custo.

6 REFERÊNCIAS

ACCETTI, Kristiane Mattar. *Contribuições ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria*. 1998. 261 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: projetos de estruturas de concreto – procedimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6123: forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 66p.

BARBOSA, Palmira Cordeiro. *Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com vigas de concreto armado*. 2000. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

BLOG CATEDRAIS MEDIEVAIS, Catedral de Reims: Fatos simbólicos marcam a história do templo gótico. Disponível em:

<<http://catedraismedievais.blogspot.com.br/2015/01/catedral-de-reims-fatos-simbolicos.html>>. Acesso em: 26 nov. 2015.

CCPL, O CCPL. Disponível em: <<http://ccpl.com.br/>>. Acesso em: 29 nov. 2015

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO – Sistemas à base de cimento, Banco de Obras – Alvenaria Estrutural. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/1/alvenaria-estrutural>>. Acesso em: 29 nov. 2015

FEHR LAW GROUP. *Ste. 1334*. Chicago. Disponível em:

<<http://www.fehrlawgroup.com/ste-1334/>>. Acesso em: 26 nov. 2015

NASCIMENTO NETO, Joel Araújo do; CORREA, Márcio R. S. Análise tridimensional de edifícios em alvenaria estrutural submetidos à ação do vento. In: *Cadernos de engenharia de estruturas*. São Carlos: 2002. p. 81-100

PARSEKIAN, Guilherme A.; HAMID, Ahmad A.; DRYSDALE, Robert G. *Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural*. 2.ed. São Carlos: EdUFSCar, 2013.

PELETEIRO, Suzana Campana. *Contribuições à modelagem numérica de alvenaria estrutural*. 2002. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. 1.ed. São Paulo: Pini Ltda, 2008.

SILVA, Ilka Maria da. *Análise de edifícios de alvenaria estrutural sujeitos às ações do vento*. 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

SITE DE CURIOSIDADES, Farol de Alexandria Egito 279 a.c. Disponível em: <<http://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/farol-de-alexandria--maravilha-do-mundo.html>>. Acesso em: 26 nov. 2015.

THE NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. *The Builders*. Washington, 1992. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/queops.htm>>. Acesso em: 26 nov. 2015.