

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANDRÉ GONÇALVES ESTEL

**INTERAÇÃO ENTRE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL SUBMETIDAS À
AÇÕES VERTICAIS: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE CINTA DE
AMARRAÇÃO**

**Alegrete
2019**

ANDRÉ GONÇALVES ESTEL

**INTERAÇÃO ENTRE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL SUBMETIDAS À
AÇÕES VERTICAIS: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE CINTA DE
AMARRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Alisson Simonetti Milani

**Alegrete
2019**

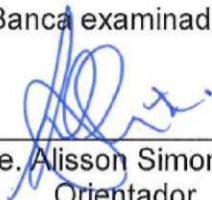
ANDRÉ GONÇALVES ESTEL

**INTERAÇÃO ENTRE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL
SUBMETIDAS À AÇÕES VERTICAIS: ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO
DE CINTA DE AMARRAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 01 de julho de
2019.

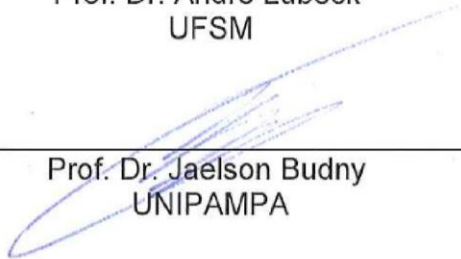
Banca examinadora:



Prof. Me. Alisson Simonetti Milani
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. André Lübeck
UFSM



Prof. Dr. Jaelson Budny
UNIPAMPA

RESUMO

O presente trabalho trata-se de um estudo sobre o comportamento de paredes de alvenaria estrutural compostas de blocos de concreto e submetidas à ações verticais. Com o objetivo de analisar numericamente a eficiência da cinta de amarração intermediária na uniformização dos carregamentos em paredes de alvenaria estrutural submetidas à ações verticais, foram analisadas interações entre grupos de paredes, através da simulação de duas edificações de mesma altura, arquitetura e natureza de carregamentos, diferenciadas apenas pela presença ou não de cinta de amarração intermediária. A modelagem das edificações foi realizada através do software SAP2000 V12, que simula os elementos com base no método dos elementos finitos. As análises feitas nas paredes demonstraram a tendência de uniformização dos carregamentos quando considerada a interação, enquanto que a presença de cinta de amarração não produz efeito relevante na uniformização das ações. As taxas de interação entre os grupos resultaram em valores não realistas para o macrogrupo delimitado.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Interação entre paredes. Modelagem numérica.

ABSTRACT

The present work deals with a study on the behavior of structural masonry walls composed of concrete blocks and submitted to vertical actions. With the objective of analyzing numerically the efficiency of the intermediate mooring pole in the uniformization of loads in structural masonry walls submitted to vertical actions, interactions between groups of relatives were analyzed through the simulation of two buildings of the same height, architecture and cargo nature, differentiated only by presence or not of an intermediate tie. The modeling of the buildings was performed using the software SAP2000 V12, which simulates the elements based on the finite element method. The analyzes performed on the walls demonstrate the tendency of uniformity of loading when considering the interaction, while the presence of mooring strap does not produce a relevant effect in the uniformization o actions. Interaction rates between groups resulted in unrealistic values for the delimited group.

Keywords: Structural masonry. Interaction between walls. Numerical modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arranjos de paredes em alvenaria estrutural	9
Figura 2 - Amarração direta	11
Figura 3 – Amarração indireta com malha metálica.....	11
Figura 4 – Amarração indireta com grampo grauteado.....	12
Figura 5 – Dispersão de cargas verticais.....	12
Figura 6 – Espalhamento do carregamento em paredes planas e em “L”	13
Figura 7 – Condições de carregamento	18
Figura 8 – Fissuras em painéis de alvenaria submetidos à cargas verticais	19
Figura 9 – Dimensões das torres ensaiadas por Camacho (1995)	20
Figura 10 – Instrumentação das torres	21
Figura 11 – Séries 1 e 2 ensaiadas por Capuzzo Neto (2000)	22
Figura 12 – Planta baixa das edificações analisadas	28
Figura 13 – Edificações discretizadas	29
Figura 14 – Nomenclatura das paredes.....	31
Figura 15 – Áreas de influência das lajes em cada parede.....	32
Figura 16 – Grupos de paredes integrantes do macrogrupo.....	33
Figura 17 – Paredes pertencentes ao Grupo 1.....	35
Figura 18 – Carregamentos ao longo da altura da parede 21	37
Figura 19 – Paredes pertencentes ao Grupo 2.....	38
Figura 20 – Ações ao longo da altura da parede 22.....	40
Figura 21 – Parede pertencente ao Grupo 3.....	41
Figura 22 – Ações atuantes na parede 7 em kN/m.....	43
Figura 23 – Paredes pertencentes ao Grupo 4.....	44
Figura 24 – Ações na parede 26	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Objetivo geral	6
1.2 Objetivos específicos	7
1.3 Justificativa.....	7
2 CONCEITOS GERAIS SOBRE ALVENARIA ESTRUTURAL.....	8
2.1 Distribuição de paredes estruturais	9
2.2 Interação entre paredes	12
2.3 Distribuição de cargas verticais.....	13
2.3.1 Paredes isoladas.....	13
2.3.2 Grupos isolados de paredes.....	14
2.3.3 Grupos de paredes com interação	15
2.3.4 Modelagem tridimensional em elementos finitos.....	16
2.4 Modelagem numérica.....	16
2.5 Estudos realizados sobre interação de paredes.....	17
2.5.1 Ensaio feito por Sinha e Hendry (1979).....	18
2.5.2 Ensaio de torres realizados por Camacho (1995)	20
2.5.3 Ensaio realizados por Capuzzo Neto (2000)	22
2.5.4 Análise numérica feita por Capuzzo Neto (2000)	23
2.5.5 Análise numérica realizada por Ali, Sinha e Usmani (2000).....	24
2.5.6 Modelagem numérica realizada por Peleteiro (2002).....	25
2.6 Síntese da pesquisa sobre os estudos realizados	26
3 METODOLOGIA	27
3.1 Edificações analisadas.....	27
3.2 Propriedades das edificações	28
3.3 Discretização.....	29

3.4 Carregamentos.....	30
3.5 Edificação sem considerar interação entre paredes.....	30
3.6 Taxa de interação entre paredes.....	32
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	34
4.1 Carregamentos.....	34
4.1.1 Grupo 1	34
4.1.2 Grupo 2	37
4.1.3 Grupo 3	41
4.1.4 Grupo 4	43
4.2 Taxas de interação.....	47
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS.....	50
APÊNDICE A	52
APÊNDICE B	58

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande crescimento do ramo imobiliário no Brasil no século XXI, torna-se indispensável a busca por novas técnicas de projeto e sistemas construtivos que satisfaçam as necessidades de custos e prazos, sempre buscando a otimização dos processos para que não haja desperdício de material e tempo. Atualmente a alvenaria estrutural ganha espaço na construção civil no cenário nacional, por ser um sistema racionalizado, que quando há mão de obra especializada, diminui muito os desperdícios de material na obra, quando comparado ao sistema de concreto armado.

Com o avanço da tecnologia no aspecto da produção de blocos, o sistema tornou-se mais confiável e seguro, deixando para trás o empirismo em que eram embasados os projetos. De acordo com a evolução, a popularização do sistema construtivo no mercado torna indispensável o estudo das estruturas, para o melhor entendimento do comportamento das paredes de sustentação sob carregamentos.

Dentre os fatores que influenciam para que se tenha como resultado uma estrutura segura, pode-se destacar a interação entre as paredes de alvenaria estrutural como um assunto de grande importância no ponto de vista estrutural, e que ainda, geralmente, não há a compreensão adequada dos projetistas. Quando a interação entre as paredes é admitida no projeto, há ganhos significativos em relação aos custos, devido à redução que se tem nas resistências dos blocos a serem utilizados, como efeito da uniformização das cargas.

Estudos realizados recentemente comprovaram a eficiência de simulações computacionais, ao produzir resultados muito semelhantes ao comportamento de paredes de alvenaria estrutural submetidas a carregamentos verticais em laboratório. Sendo assim, pode-se simular inúmeras soluções para problemas estruturais, ou mesmo por razões de eficiência ou economia da estrutura.

1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo a comparação entre as distribuições dos carregamentos verticais de duas edificações com a mesma disposição arquitetônica, uma com cinta de amarração intermediária em paredes portantes, e outra sem.

1.2 Objetivos específicos

Modelar através do método dos elementos finitos, estruturas de mesma arquitetura, mesmo carregamento, diferenciadas pela presença ou não de cinta de amarração intermediária.

Analisar a diferença entre reações obtidas dos modelos com e sem cinta de amarração.

Verificar a viabilidade de utilização das equações de distribuição de carregamentos verticais, do método de grupos de paredes com interação, no cálculo da taxa de interação.

1.3 Justificativa

Devido a sua agilidade nos processos e baixo custo, comparado aos sistemas construtivos mais populares e disponíveis, o sistema de alvenaria estrutural se popularizou no Brasil, principalmente em empreendimentos residenciais populares. Com isso, é necessária a conscientização dos projetistas sobre o comportamento estrutural dessas edificações.

Na literatura disponível sobre a interação entre paredes de alvenaria estrutural, é mais discutida a existência de tais forças do que métodos de aplicação em projetos, que resultariam em projetos mais precisos e econômicos.

Ainda é pouco discutido sobre quais fatores tem mais influência na interação, como por exemplo, posição das paredes portantes, características dos materiais utilizados, utilização de cinta de amarração intermediária, entre outros. Assim, o presente trabalho vem a acrescentar no estudo do tema.

2 CONCEITOS GERAIS SOBRE ALVENARIA ESTRUTURAL

Mohamad (2015) define a alvenaria estrutural como um sistema construtivo que tem como unidade modular o bloco, os quais unidos por argamassa estrutural formam as paredes, elementos esses encarregados de resistir as ações verticais e horizontais, e suas amarrações garantem a rigidez da estrutura.

Outra definição mais generalizada para alvenaria estrutural é apresentada por Ramalho e Corrêa (2003), onde os autores explicam que o principal conceito no uso da alvenaria estrutural é a transmissão das ações por meio de tensões de compressão. Porém admite-se tensões de tração, desde que sejam em determinadas peças localizadas em pontos específicos da edificação e com valores não elevados, para que a estrutura seja economicamente conveniente.

Os principais componentes do sistema são as unidades ou blocos, argamassa, graute e armadura. Combinando dois ou mais componentes obtém-se os elementos, os quais destacam-se pilares, vergas, paredes e cintas.

A utilização desse sistema construtivo é recomendada para edificações de baixo ou médio padrão, e geralmente até 12 pavimentos, a partir desse ponto a edificação requer o abundante uso de aço e blocos com elevada resistência à compressão, tornando o investimento comparável ou até mais oneroso que o concreto armado, necessitando um estudo comparativo de custos.

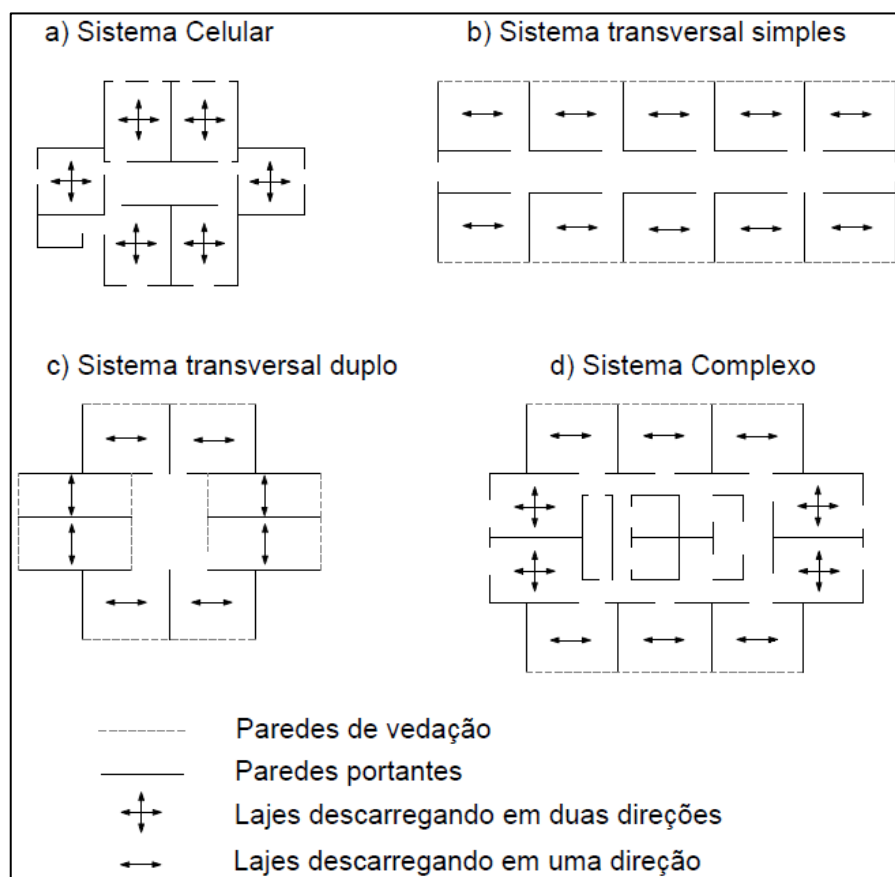
Deve-se considerar também a ocupação que terá a edificação depois de concluída, sabendo-se que a estabilidade do sistema depende da sobreposição das paredes estruturais, fica evidente a necessidade de repetição do arranjo das paredes estruturais nos pavimentos adjacentes, sendo assim mais indicado para uso residencial ou hotéis.

2.1 Distribuição de paredes estruturais

O arranjo das paredes estruturais é considerado satisfatório quando há um equilíbrio entre as paredes que possibilite a resistência suficiente aos esforços laterais em ambas as direções. Seguindo o intuito de livrar a estrutura de concentrações de tensões, observa-se também a importância de buscar a simetria na arquitetura do projeto, evitando-se assim os indesejáveis efeitos de torção na estrutura.

Devido à grande variedade de opções de disposição das paredes portantes, Hendry (1997) apresentou uma classificação generalizada para simplificar os esquemas possíveis. Os sistemas são divididos em três categorias, sistema celular, sistema de paredes transversais e sistema complexo, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Arranjos de paredes em alvenaria estrutural



Fonte: Adaptado de Hendry, Sinha e Davies (1997, p. 3).

Observando a Figura 1 (a) é possível verificar que o sistema celular conta com a distribuição da carga das lajes em paredes estruturais internas e externas, observando-se um padrão celular. No sistema classificado como transversal as lajes

são unidirecionais, induzindo ao modelo estrutural onde as paredes portantes ficam na parte interior da planta, e as paredes externas servem para vedação como pode-se ver na Figura 1 (b) e (c). Deve-se ter uma atenção especial ao utilizar esse arranjo visto que a planta pode ficar muito alongada, necessitando um sistema de contraventamento na direção crítica do vento. Por último o sistema complexo é composto por lajes unidirecionais e bidimensionais, um núcleo rígido formado por compartimentos de escadas e elevador e envolto por paredes portantes e de vedação, como mostra a Figura 1 (d).

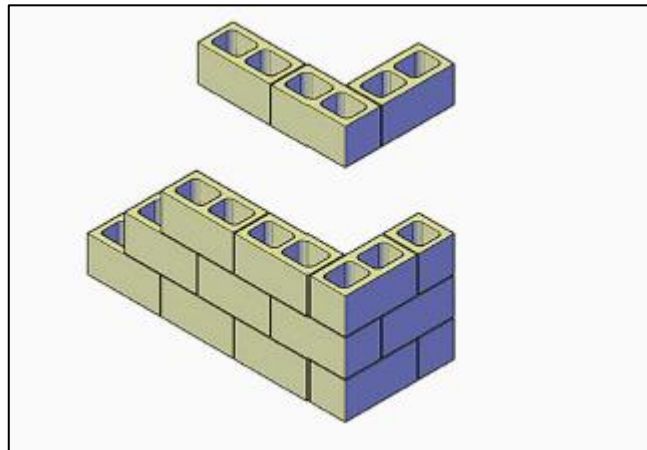
Usualmente o arranjo estrutural a ser adotado depende mais das características arquitetônicas que se deseja na estrutura, devido à falta de uma norma que especifique essa fase do projeto em alvenaria estrutural, com isso deve-se fazer um estudo de equilíbrio do arranjo adotado.

As ações a se quantificar no projeto serão de acordo com as especificações contidas na ABNT NBR 6120/1980, definido o uso da edificação, combina-se as cargas permanentes e acidentais. As cargas permanentes são resultado do peso próprio da estrutura, onde considera-se o peso dos elementos da estrutura, como lajes e paredes. Os carregamentos em consequência do uso são denominados cargas acidentais.

Tendo em vista a interação entre as paredes, é preciso identificar o tipo de amarração adotada. Segundo a ABNT NBR 15961-1/2011, toda a parede com junta não amarrada deve ser considerada não estrutural, tendo como exceção casos em que há provas experimentais de sua função estrutural.

A amarração entre as paredes pode ser direta ou indireta, Ramalho e Corrêa (2003) entendem como amarração direta aquela que há o intertravamento dos blocos com a penetração de 50% das fiadas de uma parede na outra em suas interfaces comuns, como pode-se observar na Figura 2.

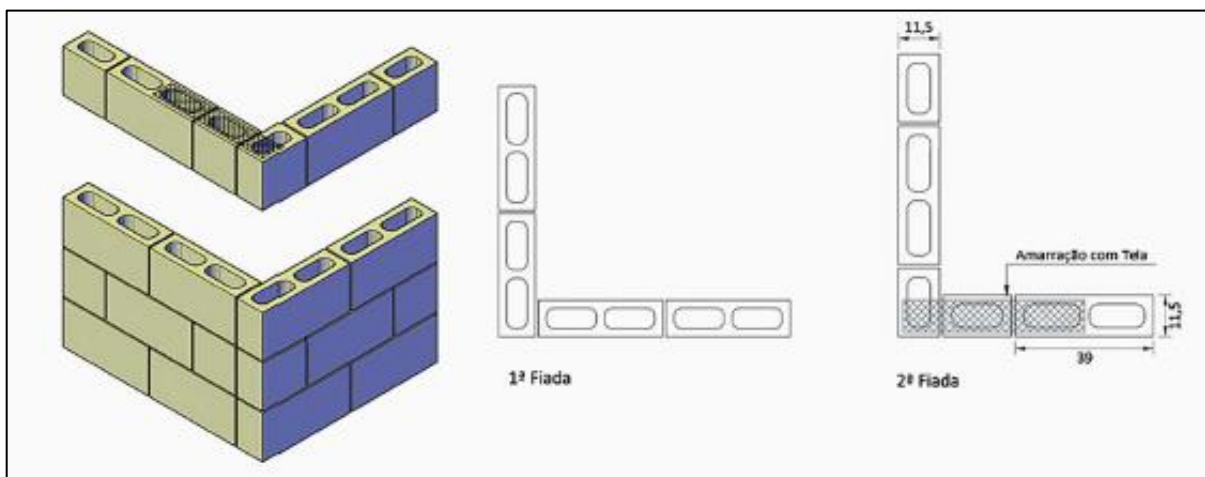
Figura 2 - Amarração direta



Fonte: Tauil e Nese (2010, p. 95)

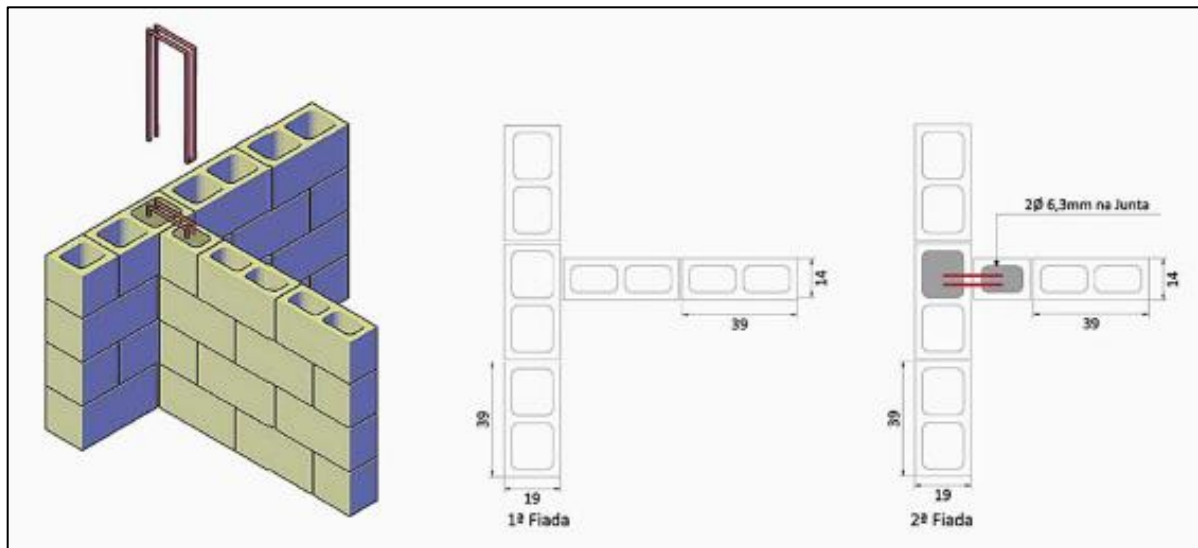
Outro modo de amarração das paredes é a amarração indireta, que ocorre em paredes com junta vertical a prumo, e deve ser utilizado para a ligação malha metálica ancorada em junta de assentamento ou grampo grauteado nos furos verticais, de acordo com as Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Amarração indireta com malha metálica



Fonte: Tauil e Nese (2010, p. 99)

Figura 4 – Amarração indireta com grampo grauteado

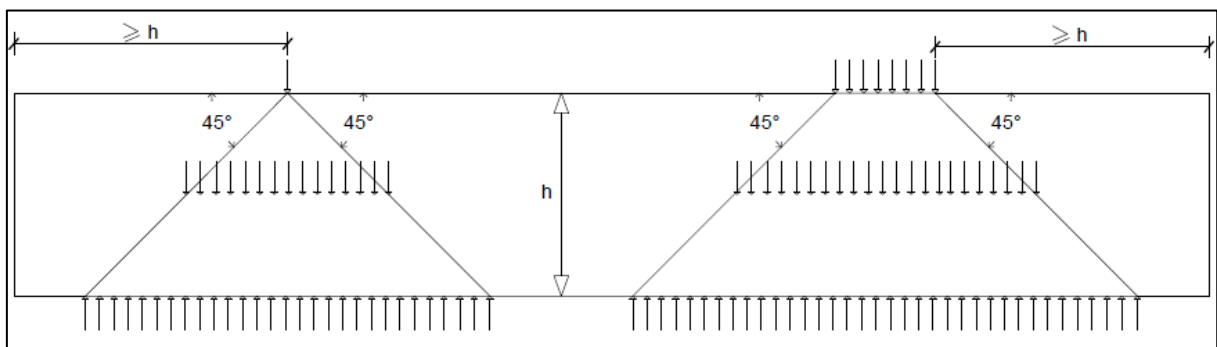


Fonte: Tauil e Nese (2010, p. 98)

2.2 Interação entre paredes

Para que se obtenha um projeto evitando superdimensionamentos e ao mesmo tempo seguro, é importante que se conheça o caminho que os carregamentos percorrem pela estrutura desde a sua aplicação até o momento em que seus alicerces os absorvem. A ABNT NBR 15961-1/2011 menciona a importância da definição do caminho percorrido pelas cargas desde o seu ponto de aplicação até o final da alvenaria e recomenda que se considere a dispersão de cargas verticais concentradas e distribuídas como tendo um ângulo de 45° de inclinação, como mostra a Figura 5.

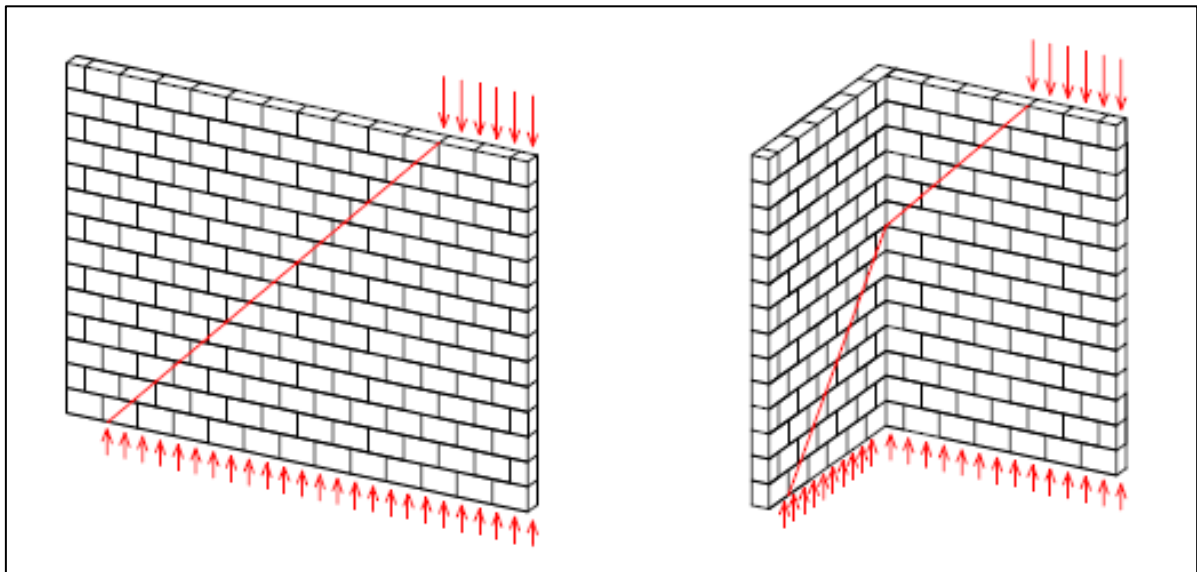
Figura 5 – Dispersão de cargas verticais



Fonte: Adaptado de NBR 15961-1 (2011, p. 18)

Ramalho e Corrêa (2003) constata o fenômeno de dispersão de cargas também em paredes de cantos, como apresentado na Figura 6, desde que sejam executadas com amarração direta, para que se possa considerar a interação entre elas. O mesmo ocorre quando há amarração direta em três paredes, formando um T em vista superior, ou ainda em quatro paredes, formando um X.

Figura 6 – Espalhamento do carregamento em paredes planas e em “L”



Fonte: Capuzzo Neto (2000, p. 10)

2.3 Distribuição de cargas verticais

Tendo em vista evitar equívocos na execução, como o uso de blocos com resistência inferior à que deverá suportar, usualmente utiliza-se blocos de mesma resistência num mesmo pavimento, sendo essa resistência determinada pela parede mais solicitada de cada pavimento. Com isso deve-se atentar ao método adotado para a distribuição das ações verticais.

Ramalho e Corrêa (2003) citam alguns métodos para a distribuição das cargas verticais, como mostrado nos itens a seguir.

2.3.1 Paredes isoladas

Ao utilizar o método de paredes isoladas admite-se que as paredes não interagem entre si, considerando isolado cada elemento da estrutura. A carga em uma

determinada parede é calculada somando-se as cargas nela atuantes nos pavimentos adjacentes.

Pode-se citar como pontos positivos a simplicidade de determinação das cargas na parede e também a segurança provida por esse procedimento, já que não se considera a uniformização das cargas e sendo assim a resistência dos blocos deverá ser maior.

Em contrapartida tem-se um acréscimo de custos devido aos blocos mais resistentes serem mais caros. O fato de não se considerar a uniformização das cargas faz com que os carregamentos obtidos não sejam condizentes com a realidade, e assim comprometendo o dimensionamento das fundações da edificação.

Ramalho e Corrêa (2003) ainda recomendam que se evite esse procedimento, com exceção de edificações de altura relativamente pequena, onde seus efeitos negativos serão menos evidentes.

2.3.2 Grupos isolados de paredes

Um grupo é composto por um conjunto de paredes que cooperam entre si para a uniformização das cargas, e é delimitado por suas aberturas. Sendo assim a uniformização total do grupo depende das forças de interação nas bordas e cantos, e despreza as interações nas aberturas.

Para Capuzzo Neto (2005), em edificações de até quatro pavimentos é aceitável a prática de dividir um grande lance de parede, sem aberturas, em grupos diferentes, devido ao fato de geralmente o edifício apresentar uma altura relativamente pequena, conseqüentemente não é possível a uniformização total para a distribuição das ações.

Com a finalidade de homogeneizar as ações verticais atuantes nas paredes de um pavimento, as lajes são divididas em áreas de contribuição no formato de triângulos e trapézios. Somando-se as ações que correspondem às áreas que contribuem para um mesmo grupo e dividindo pelo somatório dos comprimentos das paredes que constituem o grupo, como mostra a Equação 1, obtém-se as ações homogeneizadas uniformemente distribuídas nas paredes pertencentes ao grupo no nível considerado. Deve-se ainda atentar ao fato de considerar carregamentos atuantes nas aberturas como cargas concentradas aplicadas nos grupos adjacentes.

$$q = \frac{\sum(q_{oi}l_i + P_i)}{\sum l_i} \quad \dots (1)$$

Onde:

q = ações homogeneizadas uniformemente distribuídas no nível considerado;

q_{oi} = ações uniformemente distribuídas nas paredes do grupo no nível considerado;

P_i = ações concentradas nas paredes do grupo no nível considerado;

l_i = comprimento da parede i que constitui o grupo.

A eficiência do sistema está vinculada à avaliação das reais interações entre as paredes do grupo, deste modo é essencial a correta determinação de quais paredes exercerão forças de interação. Quando implementado corretamente, o método se mostra mais preciso na determinação das resistências quando comparado ao método de paredes isoladas, gerando uma redução significativa no custo da obra, em razão do preço do bloco elevar de acordo com a sua resistência.

2.3.3 Grupos de paredes com interação

Pode-se dizer que esse procedimento é uma evolução do sistema anterior, onde considera-se também as interações entre os grupos, formando-se macrogrupos. Em prática, onde o método de grupos isolados de paredes considera somente as interações em cantos e bordas, nos grupos de paredes com interação observa-se também forças de interação nas aberturas.

Ramalho e Corrêa (2003) destacam a importância de se especificar quais grupos irão interagir e suas taxas de interação, para que não haja uma uniformização total das ações, o que seria o mesmo que somar todos os carregamentos de um pavimento e dividir pelo comprimento total de paredes, onde se obteria uma carga média para todos os elementos de um mesmo pavimento. Entendendo-se por taxa de interação o quanto da diferença de carregamento entre grupos que interagem deverá se uniformizar.

A distribuição dos carregamentos pode ser feita através das Equações 2, 3 e 4 apresentadas por Capuzzo Neto (2005).

$$q_m = (q_1 \cdot l_1 + q_2 \cdot l_2 + \dots + q_n \cdot l_n) / (l_1 + l_2 + \dots + l_n) \quad \dots(2)$$

$$d_i = (q_i - q_m) * (1 - t) \quad \dots(3)$$

$$q_i^* = q_m + d_i \quad \dots(4)$$

Onde:

n = número de grupos componentes;

q_i = ações uniformemente distribuídas do grupo i no nível considerado;

l_i = comprimento do grupo i;

q_m = ação média uniformemente distribuída do macrogrupo no nível considerado;

d_i = diferença de ações do grupo i no nível considerado;

t = taxa de interação;

q_i^* = ações uniformemente distribuídas do grupo i levando em conta a interação no nível considerado.

2.3.4 Modelagem tridimensional em elementos finitos

Para Ramalho e Corrêa (2003), esse método de distribuição de cargas verticais resume-se em gerar um modelo da estrutura decomposta em elementos de membrana ou chapa, aplicando os carregamentos no nível de cada pavimento. A uniformização das cargas ocorrerá de acordo com a compatibilização dos deslocamentos no nível de cada nó.

2.4 Modelagem numérica

Devido ao grande número de variáveis possíveis a se considerar em um elemento de alvenaria estrutural, Lourenço (1996) resume em dois os principais métodos para a modelagem numérica, sendo a micromodelagem, onde os componentes da alvenaria são descritos separadamente, considerando seus comportamentos isoladamente e suas interfaces, e a macromodelagem, que adota valores equivalentes para um conjunto de componentes.

Lourenço (1996) comenta que a escolha do método a ser utilizado depende basicamente do grau de precisão e da simplicidade desejada. Deve-se utilizar a

micromodelagem em casos em que se procura definir o comportamento de partes isoladas da estrutura, onde é possível analisar rupturas localizadas, enquanto se deve adotar a macromodelagem para estruturas com dimensões suficientes para a uniformização das tensões, como paredes extensas.

Segundo Silva et al. (2003), o comportamento global da estrutura não é determinado pela interação entre bloco e junta, quando o objeto de estudo são grandes estruturas de alvenaria. Nesses casos, o mais adequado é que se utilize modelos que empregam a relação entre tensões e deformações médias na alvenaria, possibilitando a obtenção de informações globais referentes ao mecanismo de sustentação de cargas da estrutura, visando uma redução de esforço computacional e humano.

A modelagem de estruturas de alvenaria geralmente é realizada através de um programa com base em elementos finitos, por possibilitar a reprodução do comportamento dos componentes de forma precisa e eficaz. Kim e Sankar (2011) definem o método dos elementos finitos como a divisão de um sistema contínuo em elementos menores, onde seus comportamentos são descritos por seus graus de liberdade ou deslocabilidade.

Lourenço (1996) ressalta que modelos numéricos que tentam reproduzir todos os mecanismos de interação de um material não podem ser considerados realistas, já que qualquer seja o grau de distinção adotado, um modelo numérico permanece sendo apenas uma representação simplificada da realidade. Sendo assim, é possível afirmar que a quantidade de variáveis a serem consideradas na análise não necessariamente representará de forma mais exata o comportamento da estrutura.

2.5 Estudos realizados sobre interação de paredes

A necessidade de estudos sobre a interação entre paredes de alvenaria estrutural ficou evidenciada após medições serem feitas por Stockbridge em 1967 em um prédio em construção. Capuzzo Neto (2005) explica que tais medições foram as primeiras pesquisas a fornecerem dados reais e que comprovavam a teoria de uniformização de tensões nos pavimentos inferiores.

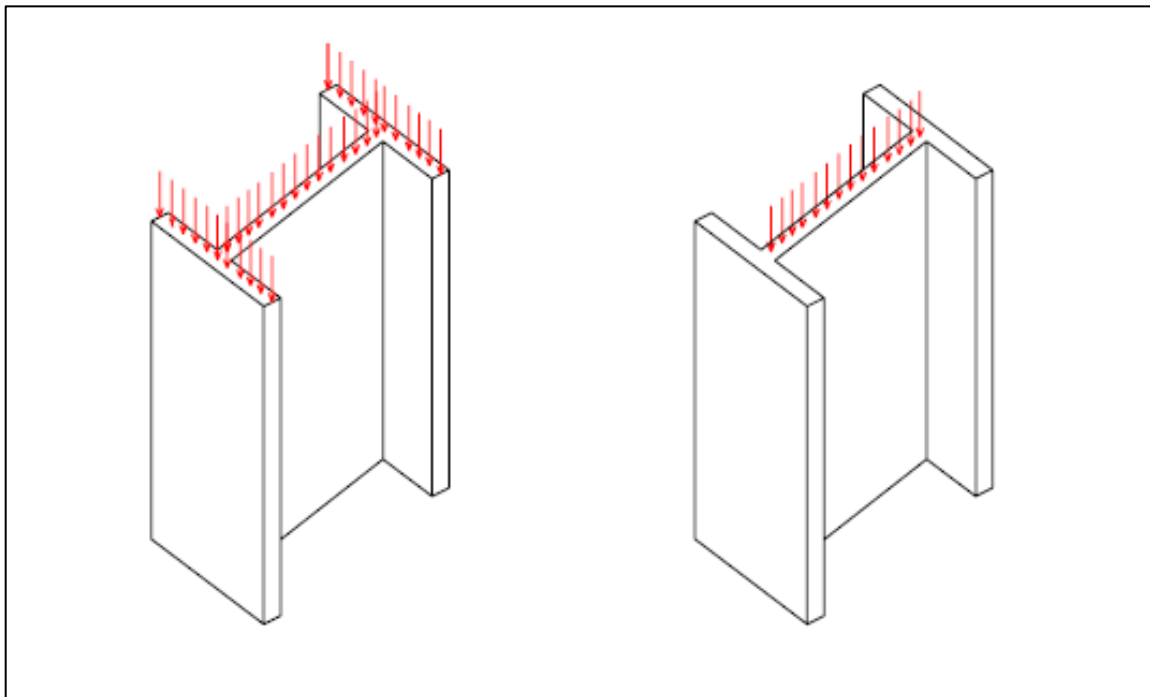
Nos itens a seguir serão apresentados alguns estudos já realizados com base em ensaios, com finalidade de descrever o comportamento de paredes submetidas à carregamentos verticais.

2.5.1 Ensaio feito por Sinha e Hendry (1979)

O artigo publicado por Sinha e Hendry (1979) descreve os procedimentos empregados em um experimento que teve como objetivo a comparação de capacidade resistente entre paredes isoladas e paredes enrijecidas.

Os ensaios foram feitos em paredes que formavam um H em planta, de tijolo cerâmico maciço, com escalas de 1:1, 1:2 e 1:3, variando o índice de esbeltez e o tipo de carregamento. A Figura 7 mostra os carregamentos que Sinha e Hendry empregaram em suas análises.

Figura 7 – Condições de carregamento

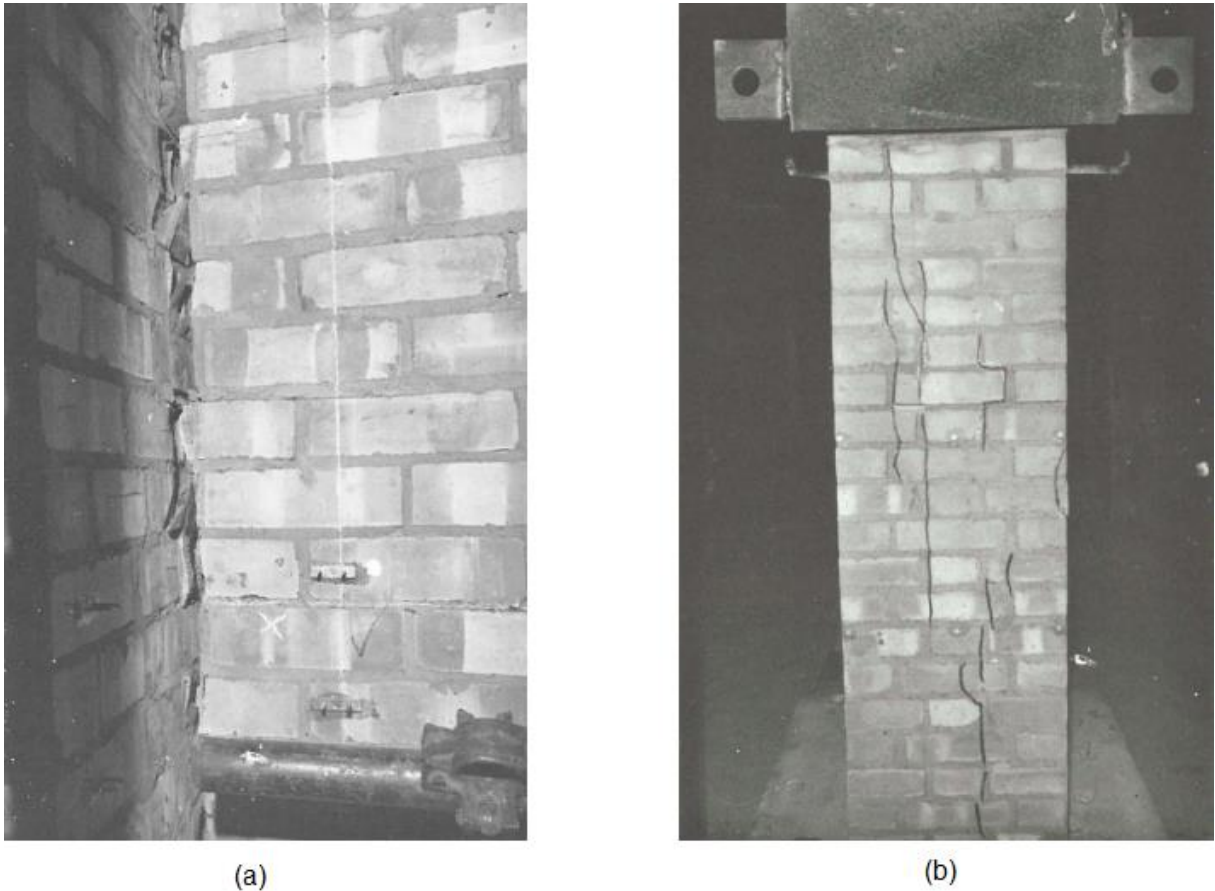


Fonte: Capuzzo Neto (2000, p. 25)

Foi observada uma linearidade na curva tensão deformação até o carregamento atingir 90% da carga de ruptura, mostrando uma característica semelhante ao comportamento de paredes com interação.

Na situação em que somente a parede principal foi submetida a carregamento, foram observadas fissuras verticais nas ligações entre as paredes, como mostrado na Figura 8 (a), enquanto que no caso de carregamento igual entre parede principal e flanges, as fissuras observadas surgiram na parte central da face exterior de cada flange, como é possível ver na Figura 8 (b).

Figura 8 – Fissuras em painéis de alvenaria submetidos à cargas verticais



Fonte: Sinha e Hendry (1979, p. 257)

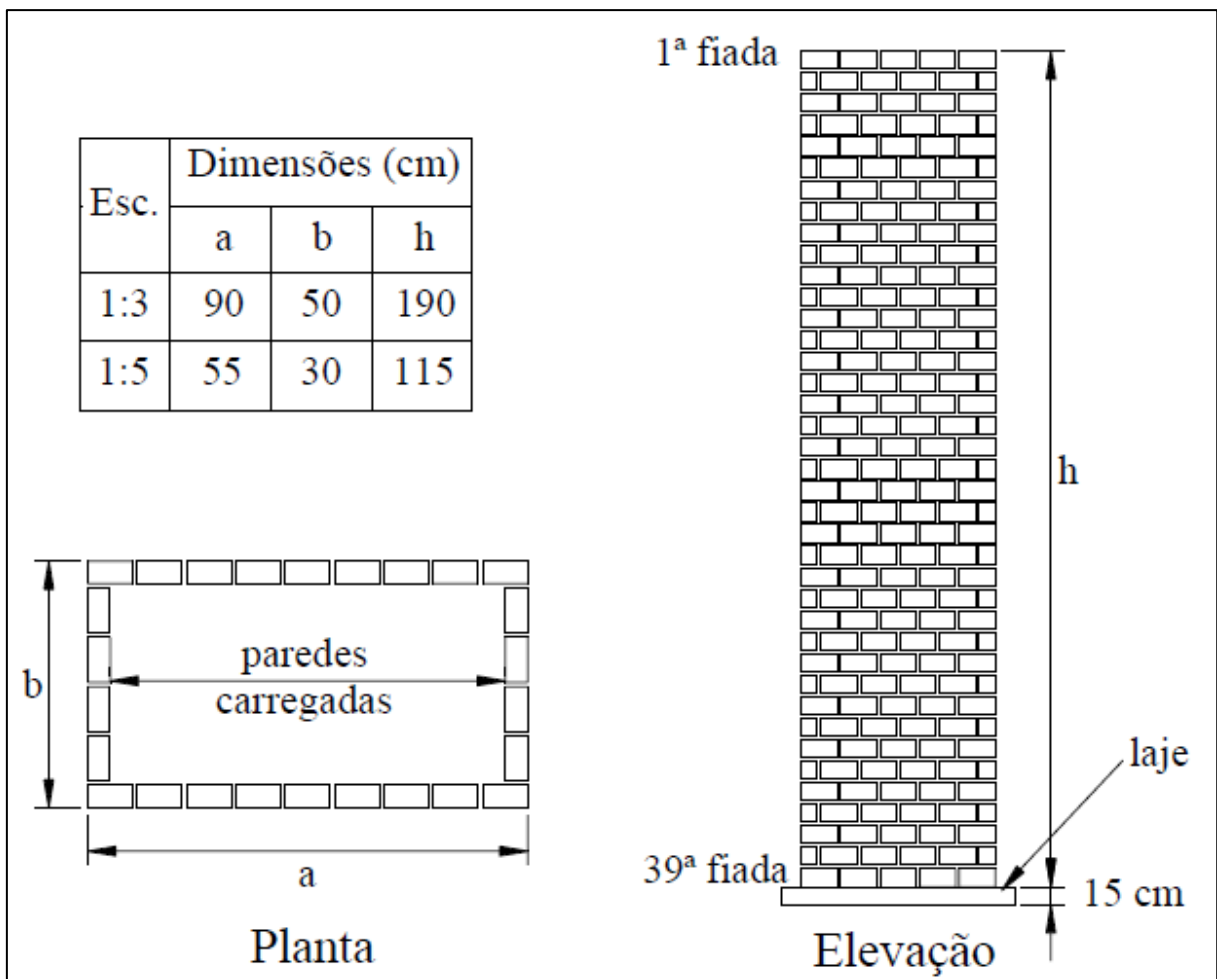
Com base nos resultados obtidos nos ensaios, Sinha e Hendry (1979) concluíram que as paredes agem como placas enrijecidas até o surgimento de fissuras verticais nas ligações entre as paredes, depois de os modelos estarem fissurados, as paredes recebem os carregamentos e não apresentam indícios de uniformização de cargas, comportando-se como paredes isoladas, e que esse comportamento foi confirmado para um índice de esbeltez até no máximo igual a 32.

Capuzzo Neto (2005) contesta as condições em que se realizaram esses ensaios, afirmando que para a comprovação de existência de forças de interação que induziriam a uma uniformização de cargas, seriam necessários painéis com uma altura que possibilitasse a dissipação dos carregamentos, já que as paredes apresentaram ruptura localizada, devido à grande concentração de carga propiciada por sua altura limitada.

2.5.2 Ensaio de torres realizados por Camacho (1995)

Os estudos feitos por Camacho (1995) tinham como objetivo investigar a influência do fator de escala no comportamento das torres. Para isso foram utilizados modelos físicos com escalas de 1:3 e 1:5, e com o formato e as dimensões apresentadas na Figura 9.

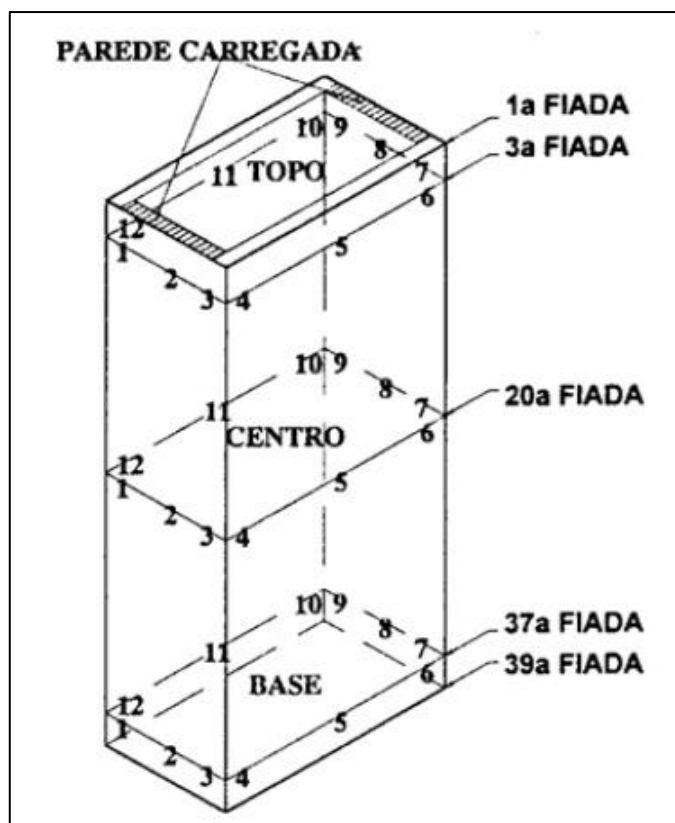
Figura 9 – Dimensões das torres ensaiadas por Camacho (1995)



Fonte: Capuzzo Neto (2005, p. 28)

Para fazer as verificações necessárias ao estudo, foi preciso realizar medições de deformações ao longo da altura e diferentes pontos da seção da torre, enquanto as paredes menores eram carregadas. Para que isso fosse possível, foram instalados equipamentos de leitura como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Instrumentação das torres



Fonte: Capuzzo Neto (2005, p. 28)

Com a leitura das deformações obtidas devido ao carregamento das paredes de menor dimensão, foi possível observar uma concentração de tensões no topo da parede carregada, enquanto que nas paredes não carregadas apresentavam deformações quase nulas. Capuzzo Neto (2005) associa as concentrações de tensão ao fato das medições feitas no topo não terem altura suficiente para a dissipação das cargas. Fato que pode ser confirmado pelas leituras das deformações à meia altura e próximo a base da torre, onde mostram que já não existe concentração de tensão, devido à interação entre as paredes.

Camacho (1995) constatou que os modelos das duas escalas apresentaram o mesmo comportamento na fissuração, começando nos cantos da primeira fiada da menor parede. Ao aumentar o carregamento as fissuras se estendiam para baixo enquanto que na parede maior as fissuras apareceram também na primeira fiada nos cantos e descendo em forma de escada em direção ao centro da parede, demonstrando a existência de transferência de forças entre as paredes.

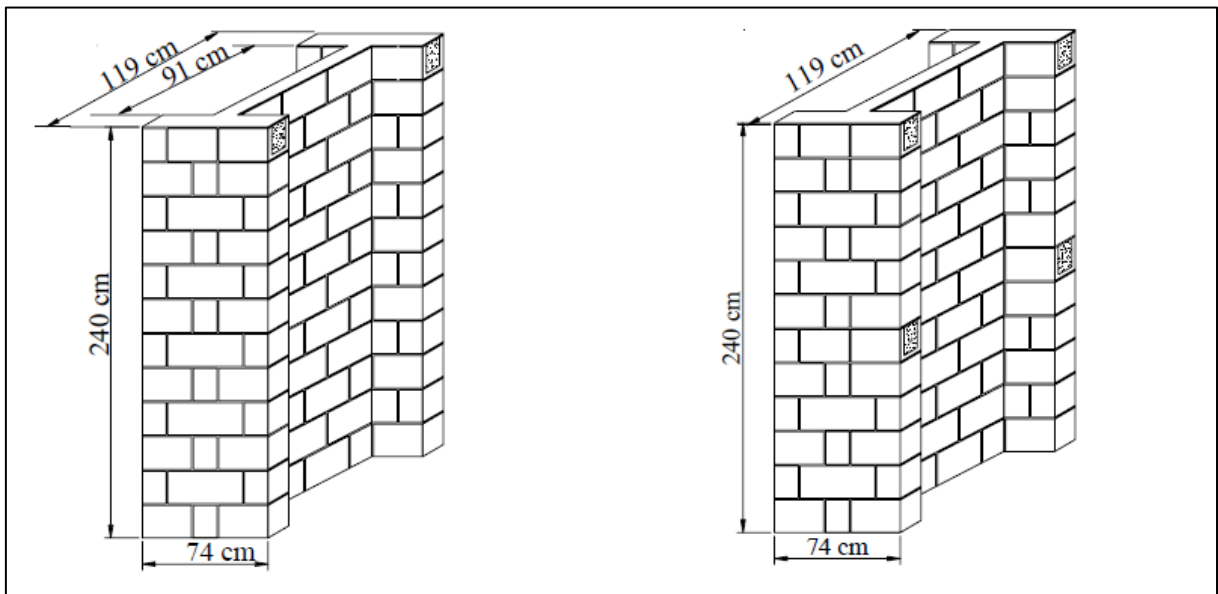
Nas amostras das duas escalas foi possível perceber o mesmo tipo de ruptura, no topo da menor parede, o que caracteriza uma ruptura localizada devido à concentração de tensões naquela área.

Após a avaliação dos resultados obtidos com os ensaios, o autor concluiu que esperava maior uniformização das deformações nas regiões centrais e base das torres. Com isso, orienta que sejam feitos mais estudos sobre o tema, acrescentando lajes intermediárias, para que se possa ter conclusões com mais segurança.

2.5.3 Ensaios realizados por Capuzzo Neto (2000)

Com o objetivo de investigar a interação entre paredes de alvenaria estrutural com amarração direta, submetidas a carregamentos verticais, Capuzzo Neto (2000) executa duas séries de ensaios, sendo a primeira com cinta de amarração somente na última fiada, e a segunda série além da cinta de amarração na última fiada também possui cinta de amarração intermediária, de acordo com a Figura 11. Cada série é composta por 3 modelos físicos com formato de “H” em escala natural.

Figura 11 – Séries 1 e 2 ensaiadas por Capuzzo Neto (2000)



Fonte: Capuzzo Neto (2005)

O ensaio resume-se à aplicação de um carregamento uniformemente distribuído na parede central, e com o auxílio de instrumentos de medição, verifica-se as variações de deformação ao longo da altura em pontos ao longo da seção.

As análises feitas por Capuzzo Neto (2000) levam em consideração somente os resultados até o ponto em que se perde a linearidade no gráfico força versus deformação. Desta forma, foi observado que no topo das amostras as deformações na parede central foram maiores que nos flanges, enquanto que na base, a tendência de uniformização dos carregamentos, fez com que a diferença de deformações entre a parede central e os flanges fosse significativamente menor.

O autor observou a pouca influência da cinta de amarração intermediária nesse caso, e acredita numa eficiência maior em caso de carregamentos horizontais. As duas séries de ensaio apresentaram rupturas no topo da parede central, e fissuras verticais nas ligações entre parede central e flanges, e na série que apresentava cinta de amarração média, as fissuras não se propagaram para a metade inferior das paredes.

2.5.4 Análise numérica feita por Capuzzo Neto (2000)

Capuzzo Neto (2000) além de realizar os ensaios apresentados anteriormente, também faz uma análise numérica baseada na modelagem em elementos finitos, através da discretização das paredes, simulando blocos, juntas de argamassa e cintas de amarração. Para fins de praticidade, os vazios dos blocos foram desconsiderados, adotando-se uma espessura efetiva para a alvenaria. Os módulos de deformação adotados para blocos e argamassa, foram obtidos experimentalmente, e o software baseado em elementos finitos utilizado foi ANSYS 5.5, onde se analisou somente o trecho linear do problema.

Capuzzo Neto (2000) simulou um carregamento uniforme apenas na parede central, com um valor equivalente a 280 kN, foi observado que os resultados nos modelos com e sem cinta de amarração intermediária são praticamente os mesmos. E como observou-se nos ensaios realizados pelo mesmo autor, na análise numérica também foi percebida uma concentração de tensões na região superior da parede central, e uniformizando-se ao longo da altura, onde a partir de meia altura até a base, as tensões já haviam se uniformizado quase que totalmente.

As maiores tensões de cisalhamento foram notadas nas ligações entre as paredes, perto do topo, o que já era esperado, de acordo com os ensaios com modelos físicos realizados pelo autor. Foi constatado ainda que a cinta de amarração

intermediária ficou localizada abaixo da área de transmissão de forças entre parede central e flanges, ocasionando pouca influência na interação entre as paredes.

Devido à semelhança de comportamento entre análise numérica e painéis ensaiados, Capuzzo Neto (2000) realizou extrapolações numéricas, inserindo pavimentos ao modelo, proporcionando a análise de sua influência, sem considerar as lajes. Para a simulação numérica com mais de um pavimento, o carregamento não mais é aplicado em sua totalidade no topo do painel, e sim o total dividido pelo número de pavimentos, e cada parcela distribuída na extremidade superior da parede central de cada pavimento, representando melhor a situação real de um edifício.

Assim como nos ensaios com modelos físicos e análise numérica do painel com um pavimento, a presença de cinta de amarração mostrou pouca influência na interação entre as paredes também nos modelos com mais de um pavimento. Foi variada também as dimensões em planta dos painéis, onde foi possível observar que os resultados obtidos não podem ser considerados conclusivos, mesmo sabendo que o principal parâmetro na análise de interação entre paredes é a relação entre altura e comprimento em planta do painel.

2.5.5 Análise numérica realizada por Ali, Sinha e Usmani (2000)

A análise numérica realizada por Ali, Sinha e Usmani (2000) consideram as não-linearidades da alvenaria em paredes enrijecidas por paredes ortogonais, e teve como objetivo verificar coeficientes de enrijecimento recomendados por diferentes normas. Em virtude deste coeficiente, é possível que se admita uma resistência maior em paredes enrijecidas ao comparar com paredes isoladas.

O método adotado pelos autores para a análise da parede enrijecida foi a macromodelagem, que considera a alvenaria como homogênea, em vez de analisar blocos e juntas separadamente. Para isso, foi utilizado o programa ABAQUS, onde foram inseridos os dados dos materiais, considerando-se as suas propriedades não-lineares.

Foram analisadas paredes enrijecidas e isoladas, com a finalidade de verificar a influência da posição do carregamento, altura e comprimento da parede. Quando comparados os resultados obtidos pela análise numérica com dados de ensaios experimentais executados previamente, obteve-se uma boa relação entre os comportamentos.

Foi verificado pelos autores que no caso de carregamento somente na parede central, as tensões máximas de cisalhamento estavam localizadas na região perto do topo nas ligações entre as paredes, provocando fissuras verticais nas ligações, o que ocasiona a ruptura, demonstrando coerência com os resultados obtidos por Sinha e Hendry (1979) e Capuzzo Neto (2000). As paredes enrijecidas com carregamento somente na alma apresentaram menor resistência quando comparadas às paredes isoladas e com carregamento em toda a seção, devido à concentração de tensões normais e de cisalhamento na região da aplicação do carregamento.

Com base na análise realizada, os autores ainda observaram que a redução da resistência da parede deve-se a elevação da esbeltez, bem como o aumento da excentricidade.

2.5.6 Modelagem numérica realizada por Peleteiro (2002)

Os estudos realizados por Peleteiro (2002) consistiam em uma modelagem numérica utilizando o programa ABAQUS, e tinham como objetivo a verificação da transferência de forças entre paredes em painéis de alvenaria não-armada. A autora não considerou os vazios dos blocos, adotando uma espessura efetiva para a alvenaria, analisando o comportamento linear e não linear dos materiais, e para isso, os blocos e as juntas de argamassa foram discretizadas separadamente. O carregamento utilizado é uma força uniformemente distribuída no topo da parede central.

Foram simulados painéis com cinta de amarração somente na última fiada, com função de amarrar as paredes e distribuir mais uniformemente o carregamento. Após a análise dos resultados obtidos com a simulação numérica, a autora compara os resultados com o comportamento observado nos mesmos modelos de painéis ensaiados em laboratório por Capuzzo Neto (2000), e verifica uma boa relação entre os comportamentos, com exceção da análise de deslocamentos com um carregamento superior ao limite linear, onde os resultados não mostram boa relação, quando analisada a região superior do painel.

2.6 Síntese da pesquisa sobre os estudos realizados

De acordo com a pesquisa a respeito dos estudos realizados sobre o tema de interação entre paredes de alvenaria estrutural, percebe-se que os autores focaram seus esforços em provar a existência de forças de interação entre paredes, através de ensaios, analisando deslocamentos, tipo de ruptura ou posição de tensões máximas. As simulações apresentadas somente reforçam os resultados obtidos em ensaios realizados anteriormente.

3 METODOLOGIA

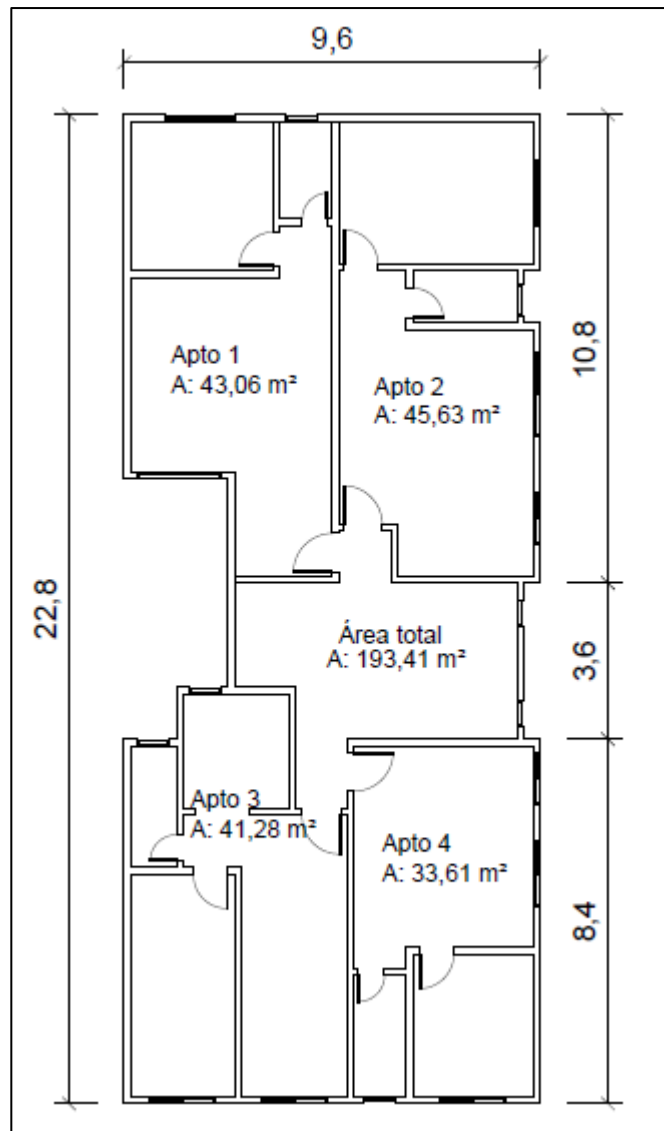
Para que fossem alcançados os objetivos definidos neste trabalho, foram analisadas duas edificações em alvenaria estrutural, com carregamentos de mesma natureza, altura e arquitetura iguais, diferenciadas por presença ou não de cinta de amarração intermediária em suas paredes portantes.

Por meio do software SAP2000 V12, foram discretizadas as estruturas com seus carregamentos, e especificadas as paredes com presença de cinta de amarração intermediária. Com isso foi possível verificar as reações nos apoios das estruturas, e conseqüentemente a análise da eficiência da presença da cinta intermediária na distribuição dos carregamentos ao longo da altura da edificação.

3.1 Edificações analisadas

As edificações objetos desse estudo são compostas por quatro pavimentos de alvenaria estrutural, sendo cada pavimento com 193,41m² de área, e lajes maciças de concreto armado, com 10 cm de espessura. Todos os pavimentos possuem a mesma altura de parede e arquitetura, como é possível observar na Figura 12, onde as medidas estão em metros. A estrutura tem uma diferença entre níveis de laje de 3 metros e considerou-se a fundação em viga baldrame com apoio nos nós e dimensões de 20 cm de largura e 60 cm de altura.

Figura 12 – Planta baixa das edificações analisadas



Fonte: Próprio autor

3.2 Propriedades das edificações

Os blocos que compõem as edificações são de concreto e possuem dimensões nominais de 14x19x39 cm, com resistência nominal à compressão igual a 6 MPa, e suas propriedades como o módulo de elasticidade longitudinal, densidade, coeficiente de dilatação térmica linear, coeficiente de Poisson e módulo de cisalhamento, respeitam os limites determinados pela NBR 15961 (ABNT, 2011). Para representar as lajes maciças, o concreto utilizado apresenta características dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2014).

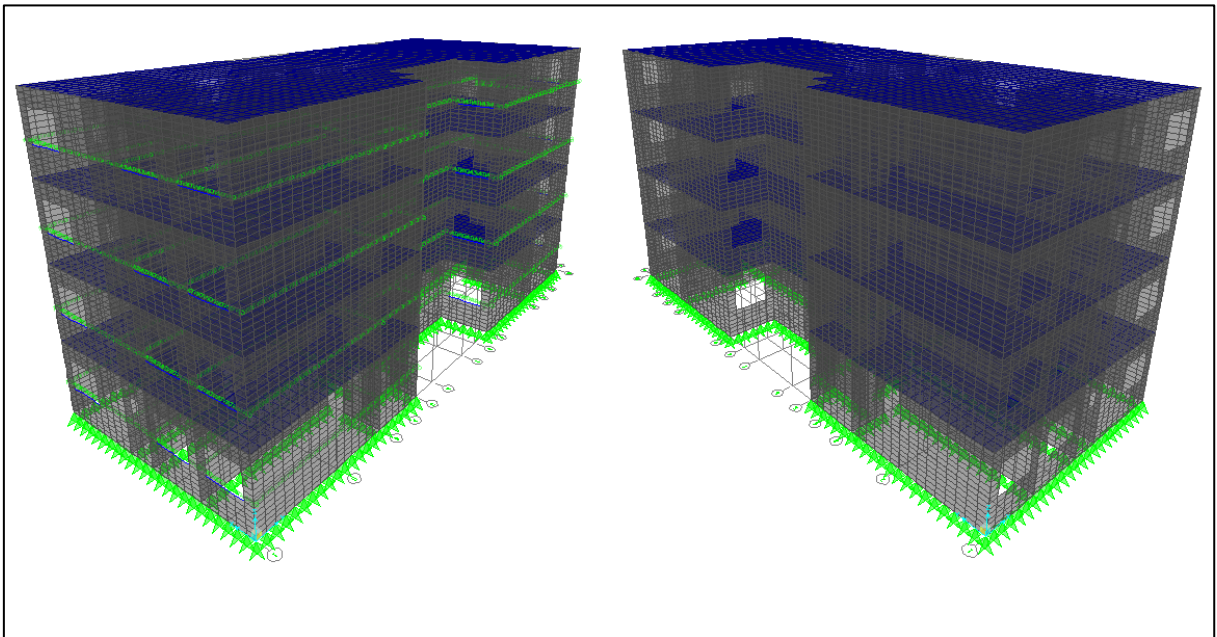
3.3 Discretização

Como o objeto de estudo desse trabalho é uma edificação, o método escolhido para a discretização da estrutura foi a macromodelagem, por ser mais eficaz quando se procura saber o comportamento global da estrutura. Para fins de praticidade os elementos foram considerados como quadriláteros, interagindo entre si através de nós nas extremidades.

A malha adotada para a representação das lajes tem dimensões de 40 x 40 cm, enquanto as paredes são compostas por elementos com dimensões de 20 x 40 cm, como mostra a Figura 13. As cintas de amarração foram representadas por elementos de barra, abaixo das aberturas de janela a uma distância de 1,2 m acima de cada laje, com dimensões de altura a largura semelhantes às dos blocos que compõe as paredes, enquanto que seu comprimento abrange o comprimento total de cada parede.

As edificações são apoiadas em vigas baldrame como descrito no item 3.1, e a cada 40 cm foi considerado um apoio restringindo deslocamentos verticais nos nós da base.

Figura 13 – Edificações discretizadas



Fonte: Próprio autor

3.4 Carregamentos

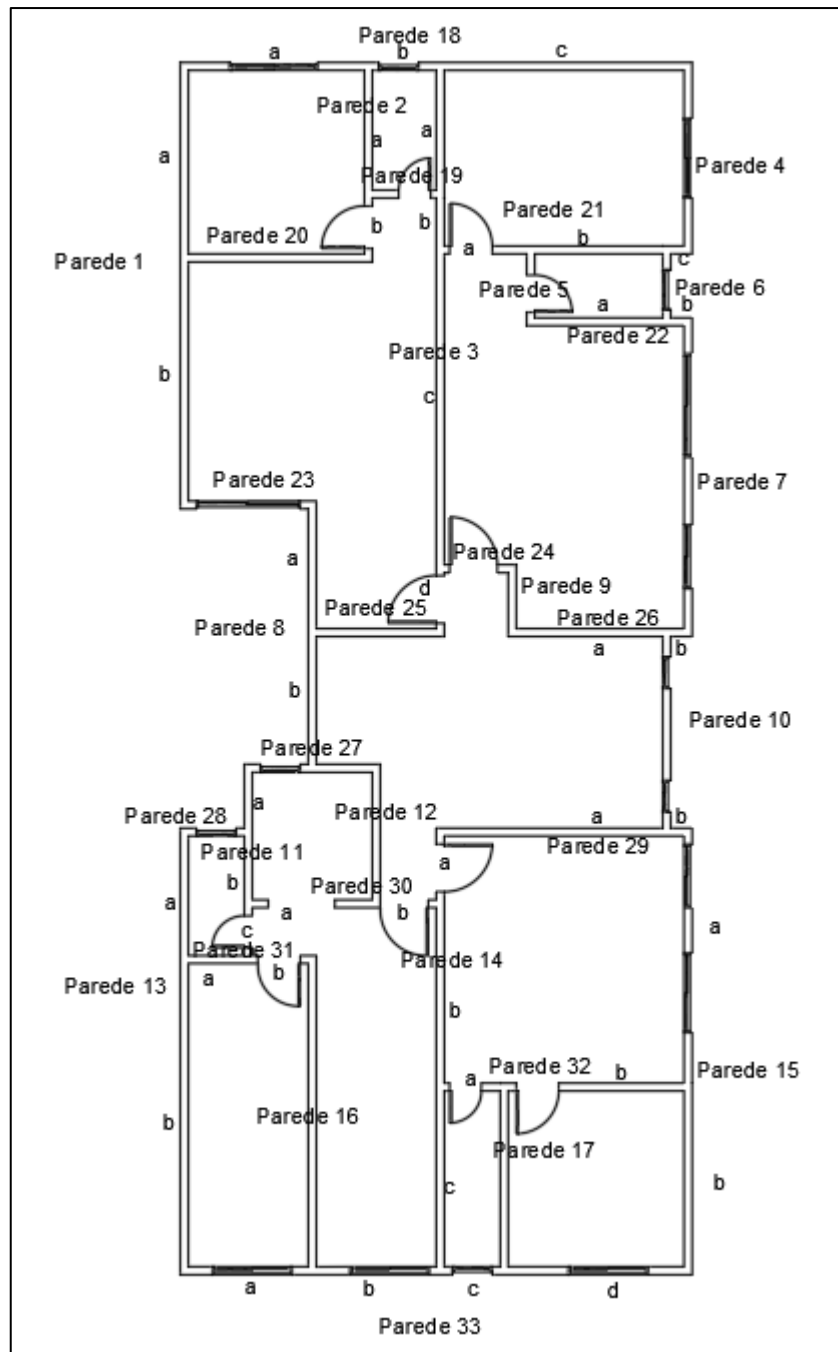
Os carregamentos considerados são compostos de uma carga permanente aplicada em cada laje com valor de 150kgf/m^2 além de uma acidental de mesmo valor, enquanto que os carregamentos devido ao peso próprio são considerados automaticamente pelo software SAP2000.

3.5 Edificação sem considerar interação entre paredes

Os carregamentos aplicados na edificação sem considerar a interação entre paredes foram os mesmos descritos no item 3.4. O peso próprio foi calculado considerando os mesmos valores inseridos nas características da estrutura no software SAP2000, como peso específico da laje com valor de 25 kN/m^3 , peso específico do bloco de concreto valendo 14 kN/m^3 e peso específico da cinta de amarração com valor de 24 kN/m^3 .

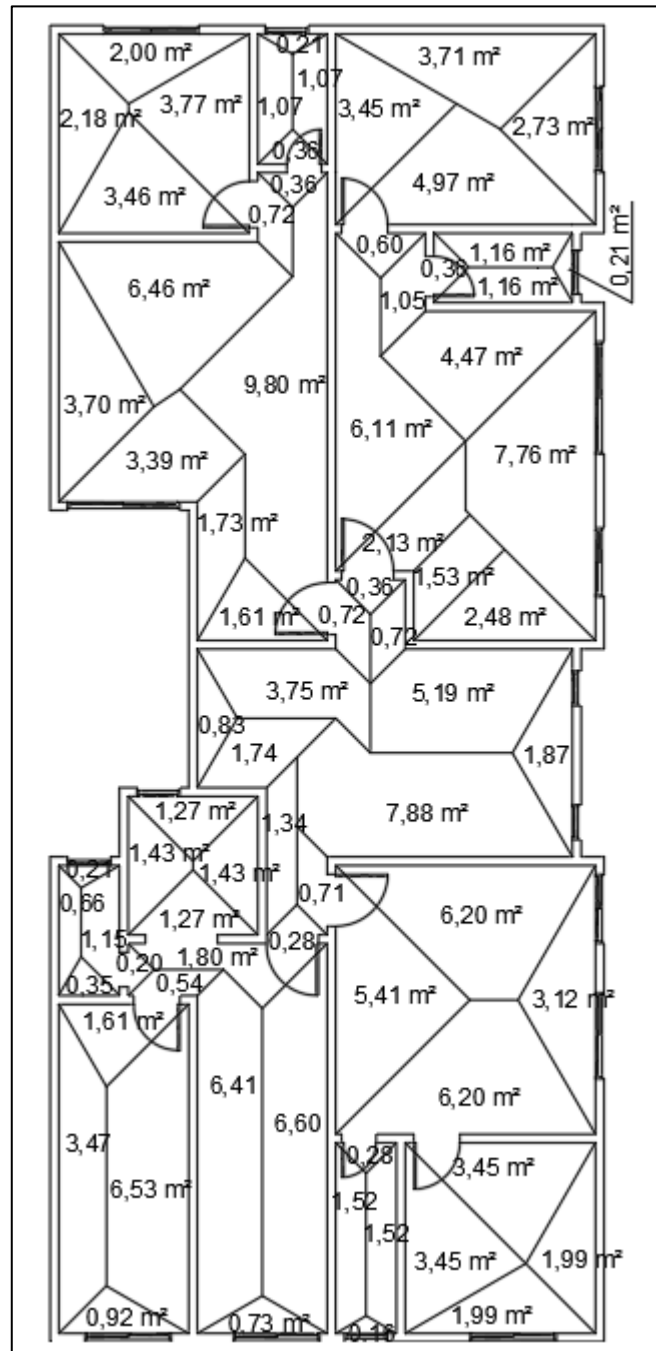
A nomenclatura de cada parede e suas áreas de contribuição são apresentadas nas Figuras 14 e 15, respectivamente. Os valores de reação, em ações uniformemente distribuídas, na base de cada parede da edificação sem considerar a interação entre paredes, pode ser visto no Apêndice B.

Figura 14 – Nomenclatura das paredes



Fonte: Próprio autor

Figura 15 – Áreas de influência das lajes em cada parede



Fonte: Próprio autor

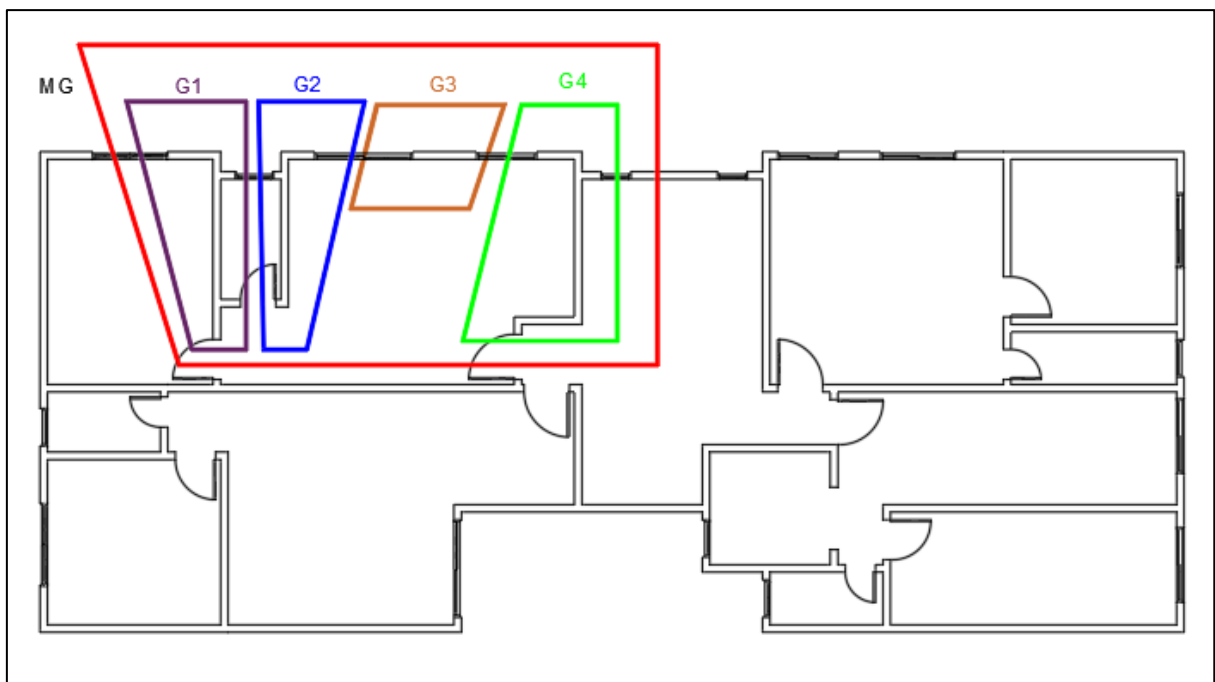
3.6 Taxa de interação entre paredes

Com a finalidade de análise da contribuição da cinta de amarração na distribuição dos carregamentos, a taxa de interação de cada grupo deve ser calculada. Para isso, foi necessário observar as reações nos apoios da estrutura,

desconsiderando o peso próprio da viga baldrame e do contrapiso do pavimento térreo.

As paredes analisadas foram escolhidas de acordo com o método descrito no item 2.3.3, formando grupos componentes do macrogrupo, como mostra a Figura 16. As aberturas das paredes foram utilizadas como critério de delimitação para cada grupo.

Figura 16 – Grupos de paredes integrantes do macrogrupo



Fonte: Próprio autor

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir está a apresentação dos resultados de cada grupo de paredes das edificações.

4.1 Carregamentos

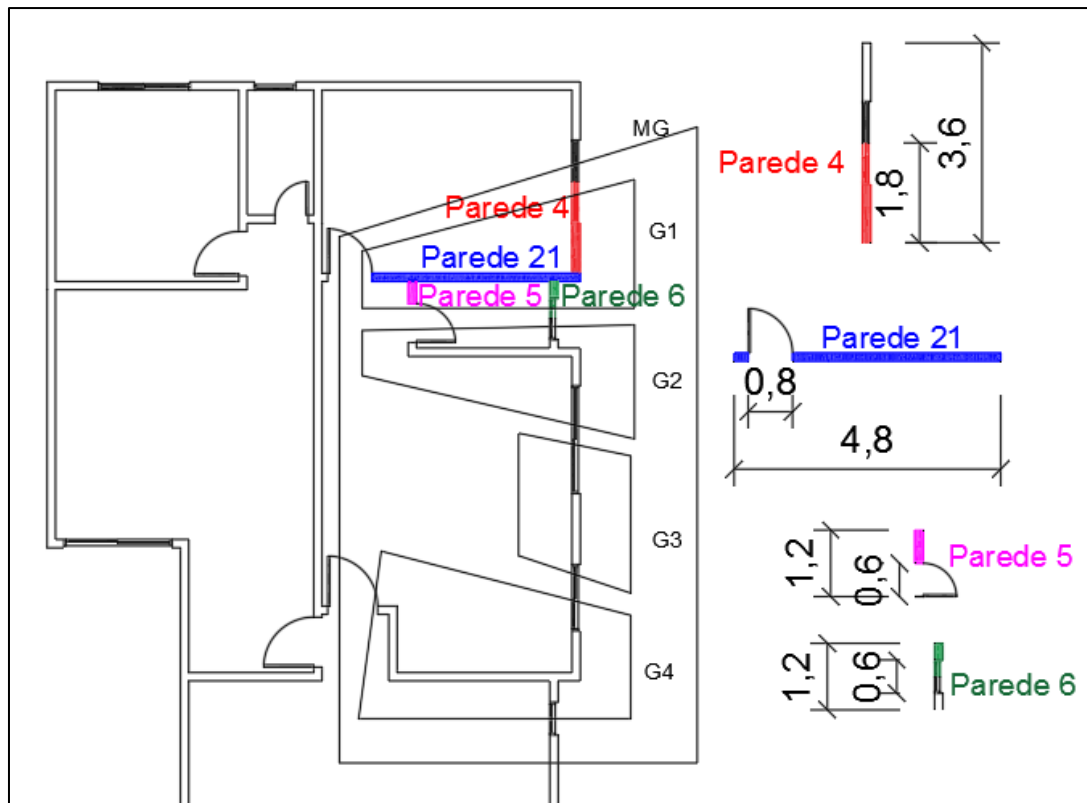
Para que seja possível o cálculo da taxa de interação de cada grupo de paredes, deve-se primeiramente obter os carregamentos resultantes nos apoios, a seguir são apresentadas todas as ações distribuídas em cada parede componente de cada grupo.

4.1.1 Grupo 1

Neste tópico, serão dispostos os resultados obtidos para as paredes pertencentes ao Grupo 1, relacionando as reações da edificação com cinta de amarração e a edificação sem cinta.

A primeira parede analisada tem 3,6 m de comprimento, 3 m de altura e uma abertura com dimensões de 1,6 m de largura e 1,2 m de altura, começando a uma distância de 1,2 m da laje inferior e centralizada em relação ao comprimento da parede. De acordo com o método utilizado no cálculo da interação, a parede foi considerada somente até o limite do grupo 1, na metade da abertura, como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Paredes pertencentes ao Grupo 1

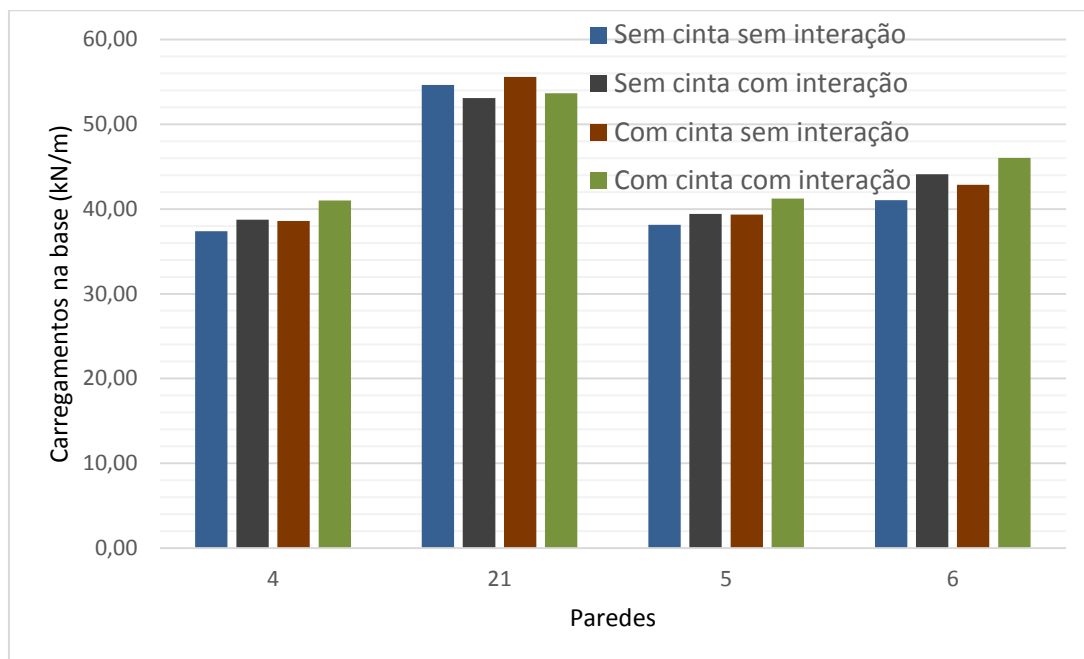


Fonte: Próprio autor

As reações das paredes, sem contar com a interação, foram calculadas a partir dos carregamentos aplicados e peso próprio dos elementos componentes da estrutura. Já as reações considerando a interação foram obtidas através da modelagem da edificação por meio do SAP2000 e podem ser verificadas no Apêndice A.

As forças de reações na base de cada parede foram convertidas em ações uniformemente distribuídas, para que fosse possível utilizar esses dados no cálculo da interação, através das Equações 2, 3 e 4, apresentadas no item 2.3.3. O Gráfico 1 apresenta as ações uniformemente distribuídas na base de cada parede pertencente ao Grupo 1.

Gráfico 1 – Ações na base das paredes do Grupo 1 das edificações com e sem cinta de amarração



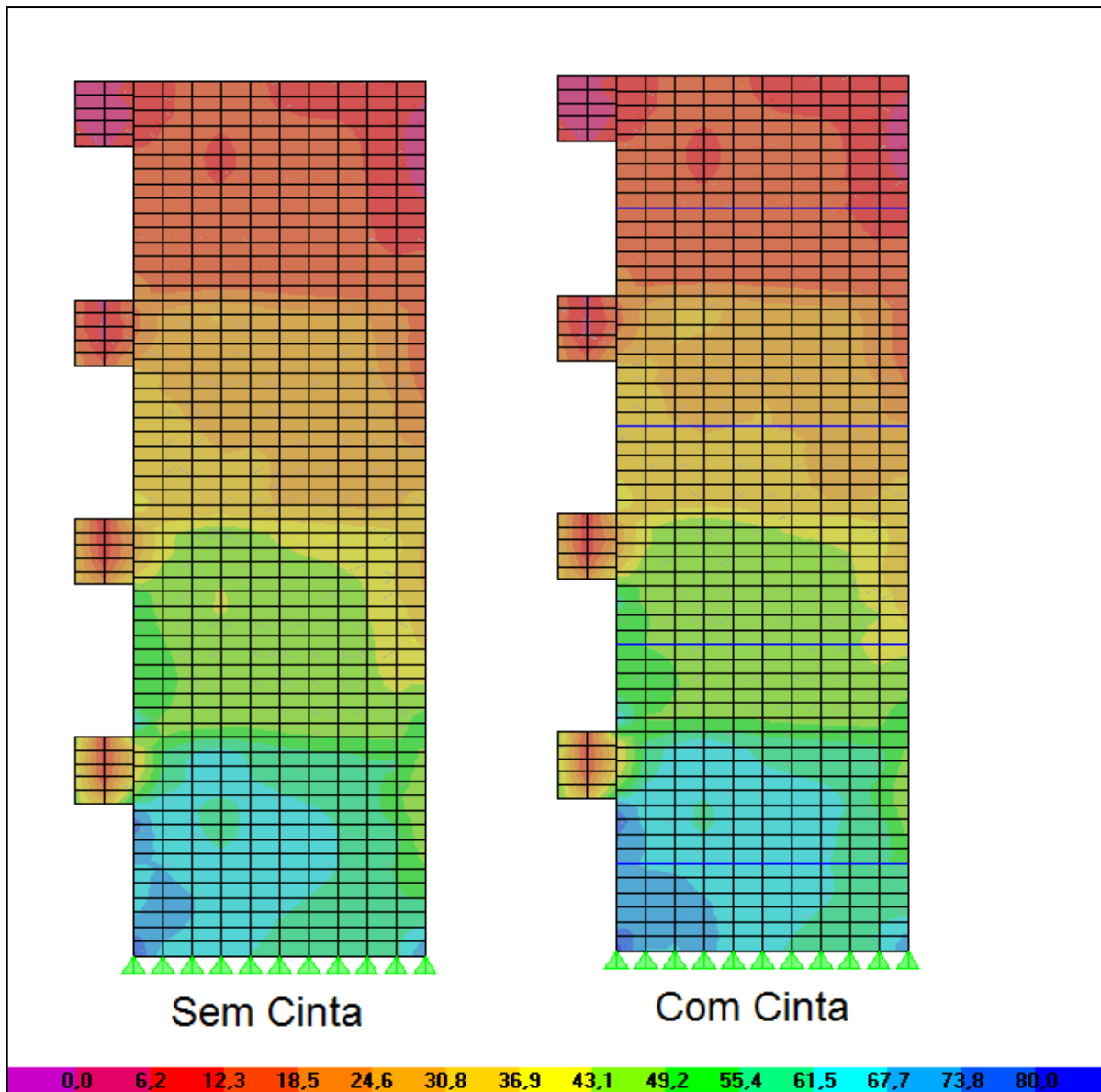
Fonte: Próprio autor

O carregamento médio do Grupo 1 na edificação sem cinta de amarração e sem considerar a interação entre grupos, foi de 47,84 kN/m, considerando a interação, o mesmo grupo tem 47,65 kN/m de carregamento, o que significa 0,4% de redução nas ações. Levando em conta a interação entre grupos, é possível observar a redistribuição dos carregamentos entre as paredes do grupo, sendo um decréscimo de carregamento na parede mais solicitada e um acréscimo nas paredes menos solicitadas.

O mesmo acontece na edificação com cinta de amarração, onde apresentou uma média de 48,95 kN/m sem interação, e 48,86 kN/m quando considerada a interação, representando uma redução nas ações de 0,17%. Analisando somente a média de carregamentos do grupo, a maior redução das ações do Grupo 1 foi na edificação sem cinta de amarração.

Para a melhor compreensão sobre as distribuições de carregamentos nas paredes, a Figura 18 ilustra as forças distribuídas em kN/m na parede mais solicitada do Grupo 1, sendo as maiores forças representadas em tons de azul e as menores na cor vermelha. Nota-se que o ponto com menos solicitado na parede é situado acima da abertura, enquanto que as mais solicitadas encontram-se nas bordas.

Figura 18 – Carregamentos ao longo da altura da parede 21

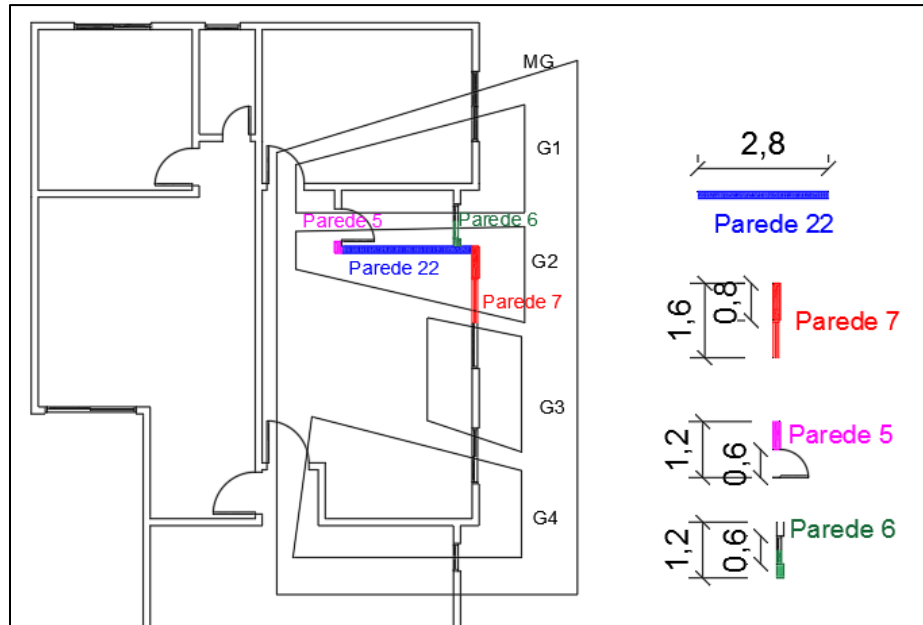


Fonte: Próprio autor

4.1.2 Grupo 2

O Grupo 2 é composto por 4 paredes, sendo vinculado aos Grupos 1 e 3 através de suas aberturas. A Figura 19 mostra a posição do grupo, seus elementos e suas dimensões estão em metros.

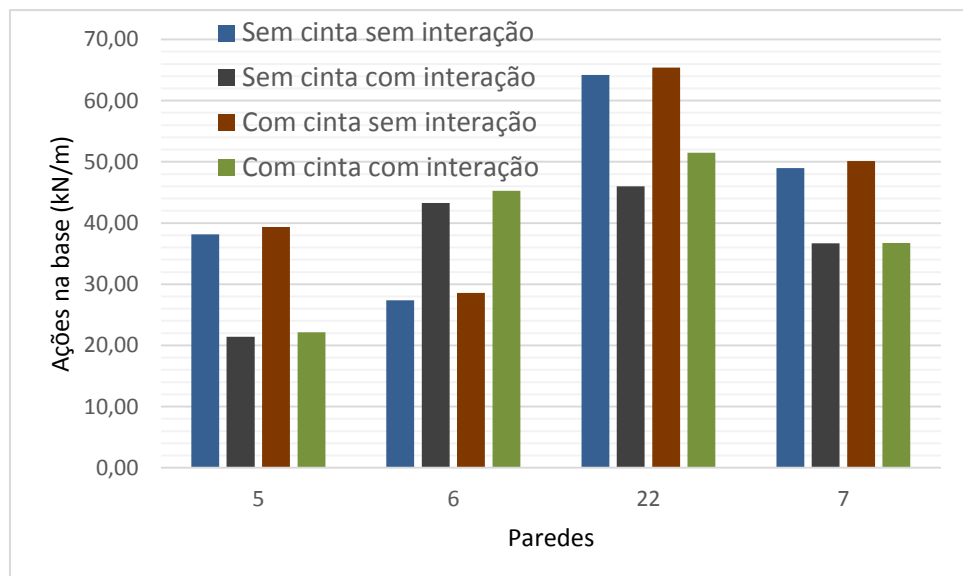
Figura 19 – Paredes pertencentes ao Grupo 2



Fonte: Próprio autor

Para a obtenção das ações uniformemente distribuídas em cada parede do Grupo 2 foi repetida a mesma rotina de cálculo efetuada para o Grupo 1. O Gráfico 2 apresenta as ações das paredes componentes do Grupo 2 das edificações com e sem cinta de amarração.

Gráfico 2 – Ações na base das paredes do Grupo 2 das edificações com e sem cinta de amarração



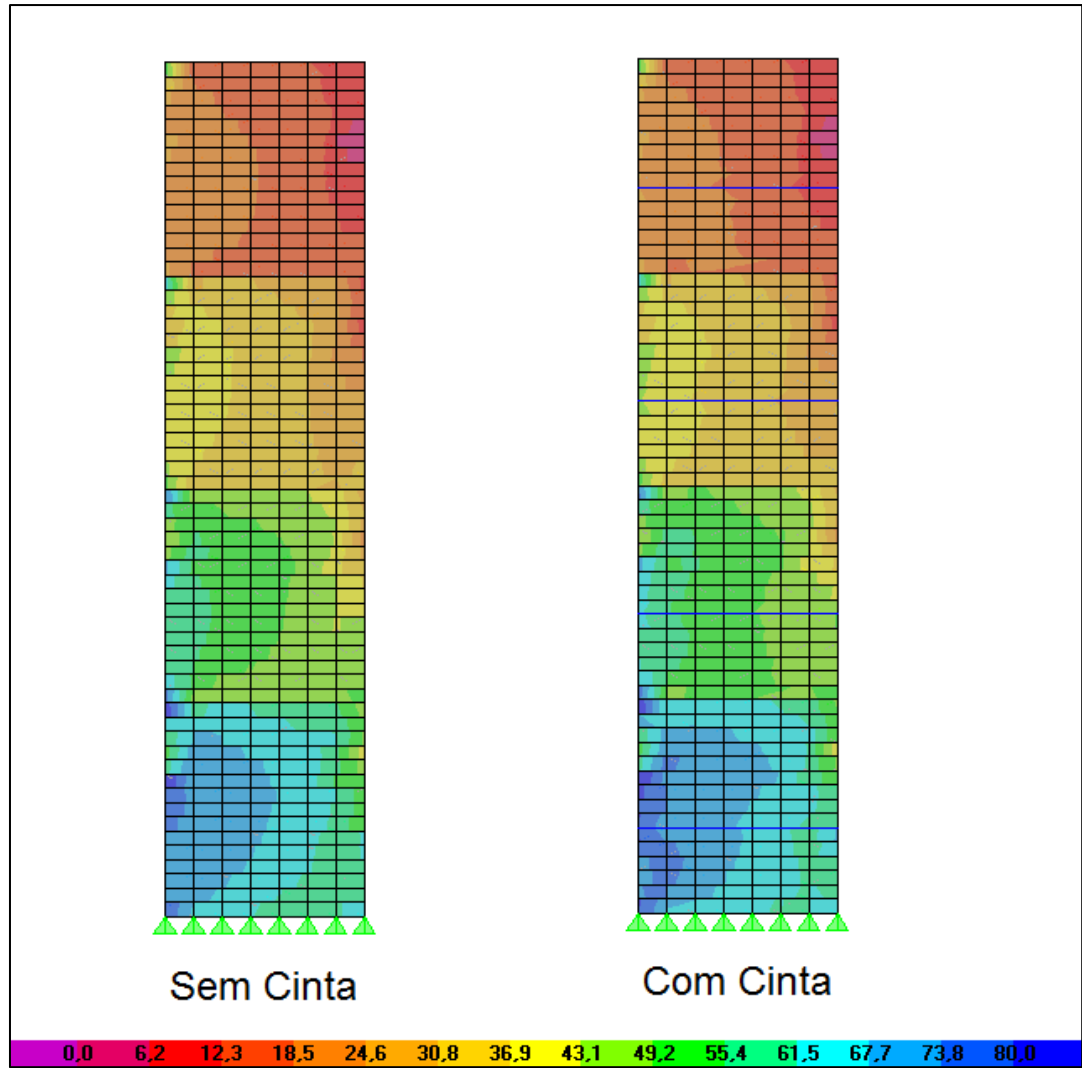
Fonte: Próprio autor

O valor obtido como média de carregamento do Grupo 2 da edificação sem cinta de amarração equivale a 53,21 kN/m. As ações médias considerando a interação entre os grupos vale 40,58 kN/m, o que representa uma redução de 23,73% nas ações médias do grupo. Para a edificação com cinta de amarração a média do grupo foi de 54,41 kN/m, e quando considerada a interação a média foi de 43,84 kN/m, apresentando uma redução no carregamento médio do grupo de 19,44%.

Com base nos resultados apresentados no Gráfico 2, percebe-se a redução das ações nas paredes mais solicitadas, e o acréscimo na parede menos solicitada. A parede 5, mesmo apresentando um carregamento abaixo da média do grupo, mostrou um decréscimo nas ações ao se considerar a interação entre os grupos, devido a sua maior parcela de parede pertencer ao Grupo 1, ou seja, a abertura não está centralizada na extensão da parede.

A Figura 20 apresenta os carregamentos distribuídos em kN/m na parede mais carregada do grupo, a parede 22 não possui aberturas e mede 2,8 m de comprimento.

Figura 20 – Ações ao longo da altura da parede 22

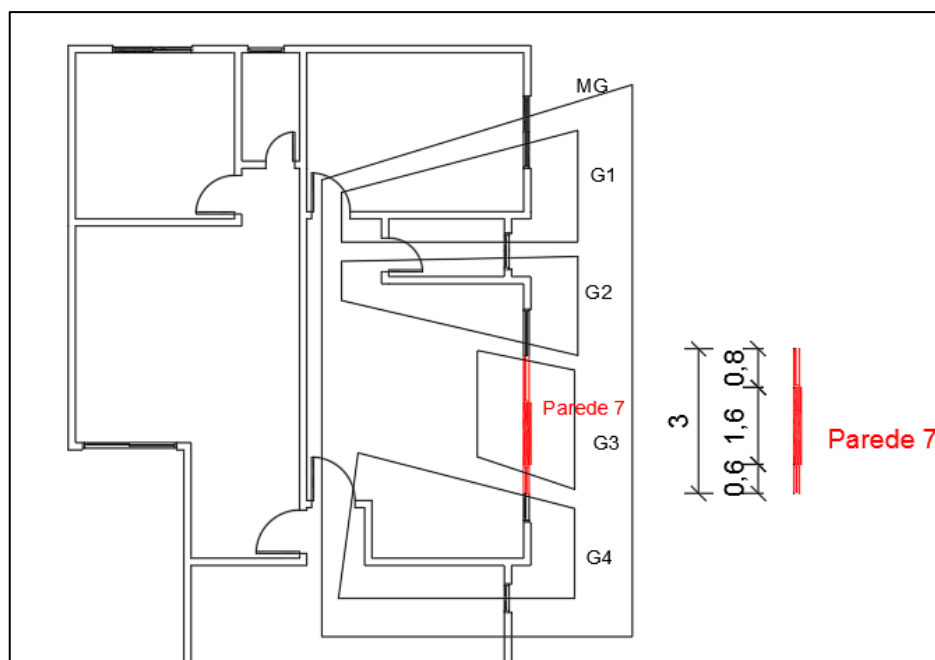


Fonte: Próprio autor

4.1.3 Grupo 3

O Grupo 3 tem apenas uma parede pertencente. A posição e as dimensões, em metros, são apresentadas na Figura 21.

Figura 21 – Parede pertencente ao Grupo 3

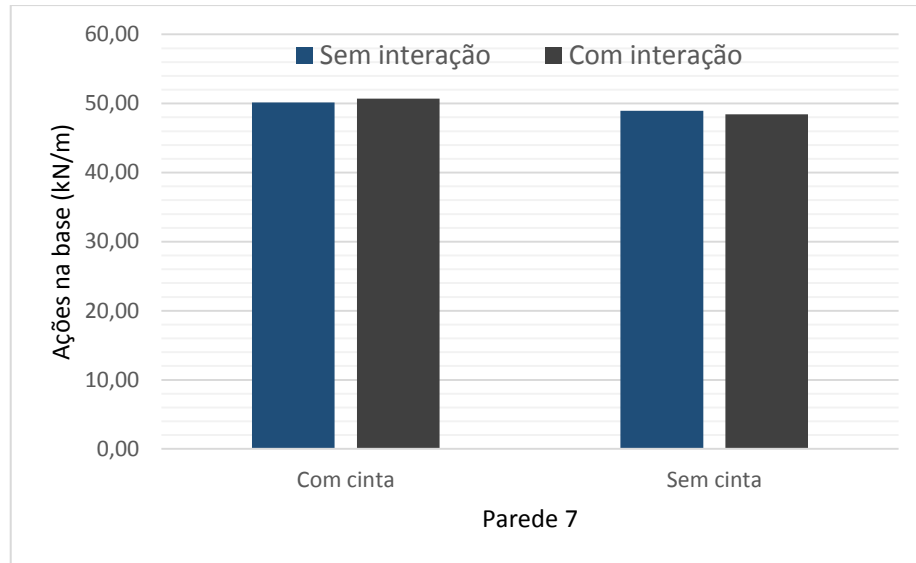


Fonte: Próprio autor

A ação média calculada para o grupo considerando apenas as cargas acidentais, permanentes e peso próprio, é usada como parâmetro de ação sem interação. O valor calculado é o mesmo utilizado nos grupos os quais pertence alguma porção da extensão da parede 7, com valor de 50,15 kN/m para a edificação com cinta de amarração, e 48,95 kN/m para a parede sem cinta, sendo esses os valores médios do grupo de cada edificação. A intensidade do carregamento considerando a interação obtido através das reações de apoio do software SAP2000 é de 50,72 kN/m na parede com cinta, e 48,42 kN/m na parede sem cinta. A consideração da interação resultou em uma redução de 1,08% nos carregamentos do grupo na edificação sem cinta de amarração, entretanto, na edificação com cinta de amarração houve um aumento de 1,14% no valor médio das ações distribuídas do grupo.

As ações da parede nas edificações com e sem cinta de amarração são apresentadas no gráfico 3.

Gráfico 3 – Ações na base da parede do Grupo 3 das edificações com e sem cinta de amarração

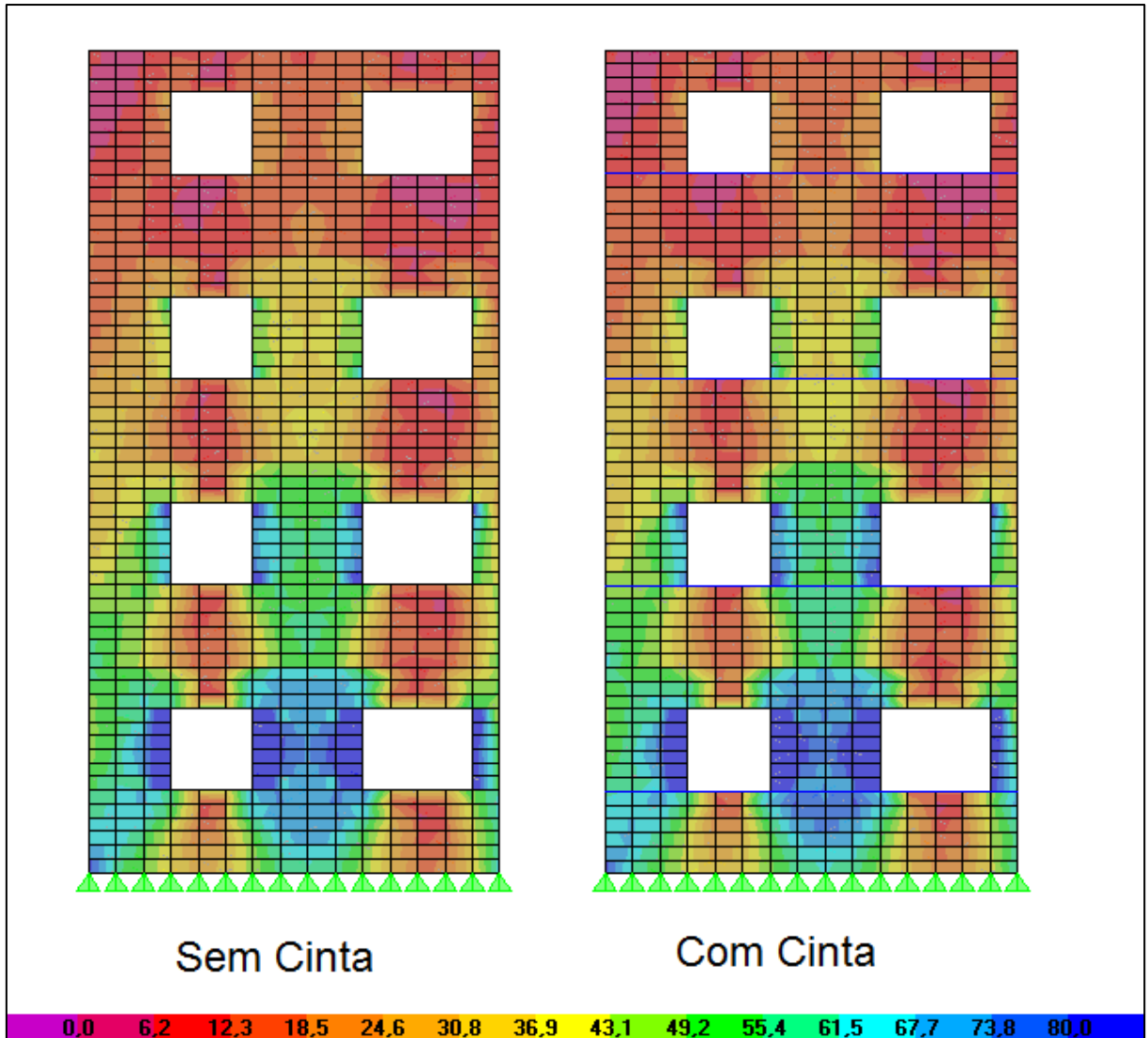


Fonte: Próprio autor

O acréscimo nas ações da parede com cinta pode ser relacionado com a uniformização das cargas providas pela presença da cinta de amarração, visto que no item 4.2, onde são apresentados os resultados do Grupo 2, a mesma parede apresenta redução no valor das ações, indicando a tendência de colaboração entre grupos de paredes.

A Figura 22 mostra as ações atuantes na parede 7, nas edificações sem e com cinta de amarração.

Figura 22 – Ações atuantes na parede 7 em kN/m

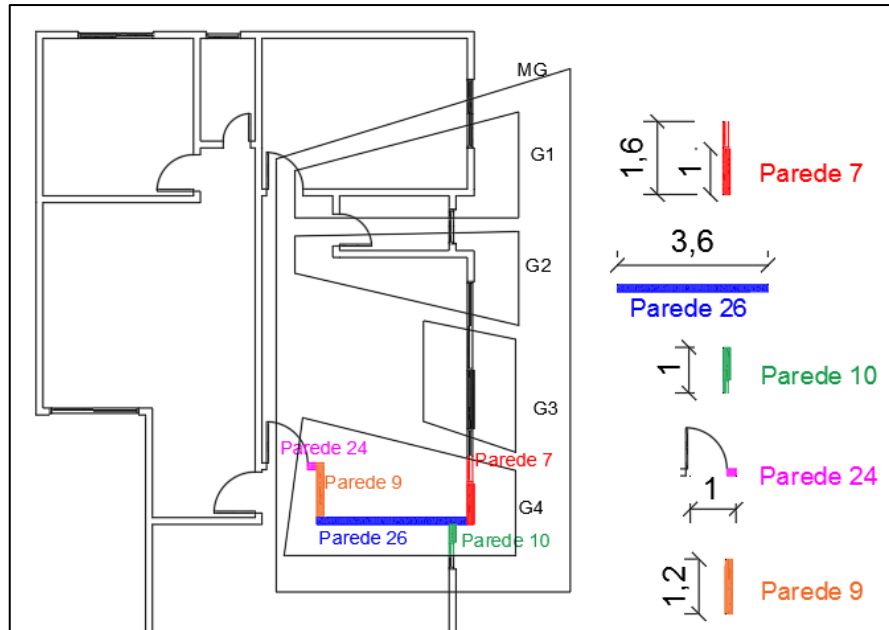


Fonte: Próprio autor

4.1.4 Grupo 4

O Grupo 4 é composto por duas paredes inteiras e mais três segmentos de parede, totalizando 8,4 metros de comprimento, como mostra a Figura 23.

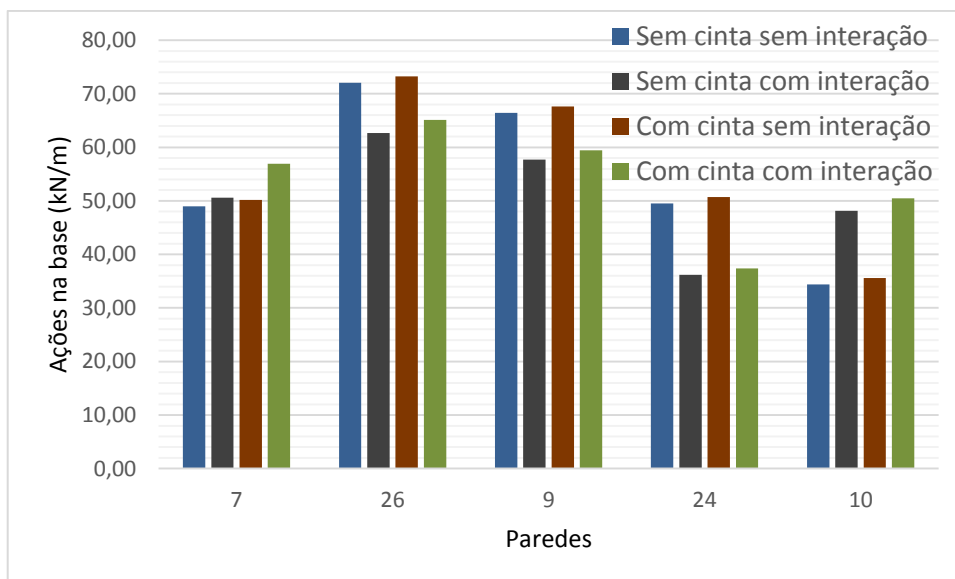
Figura 23 – Paredes pertencentes ao Grupo 4



Fonte: Próprio autor

Os carregamentos distribuídos nas paredes da edificação sem a presença de cinta de amarração calculados com e sem interação são apresentados no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Ações na base das paredes do Grupo 4 das edificações com e sem cinta de amarração



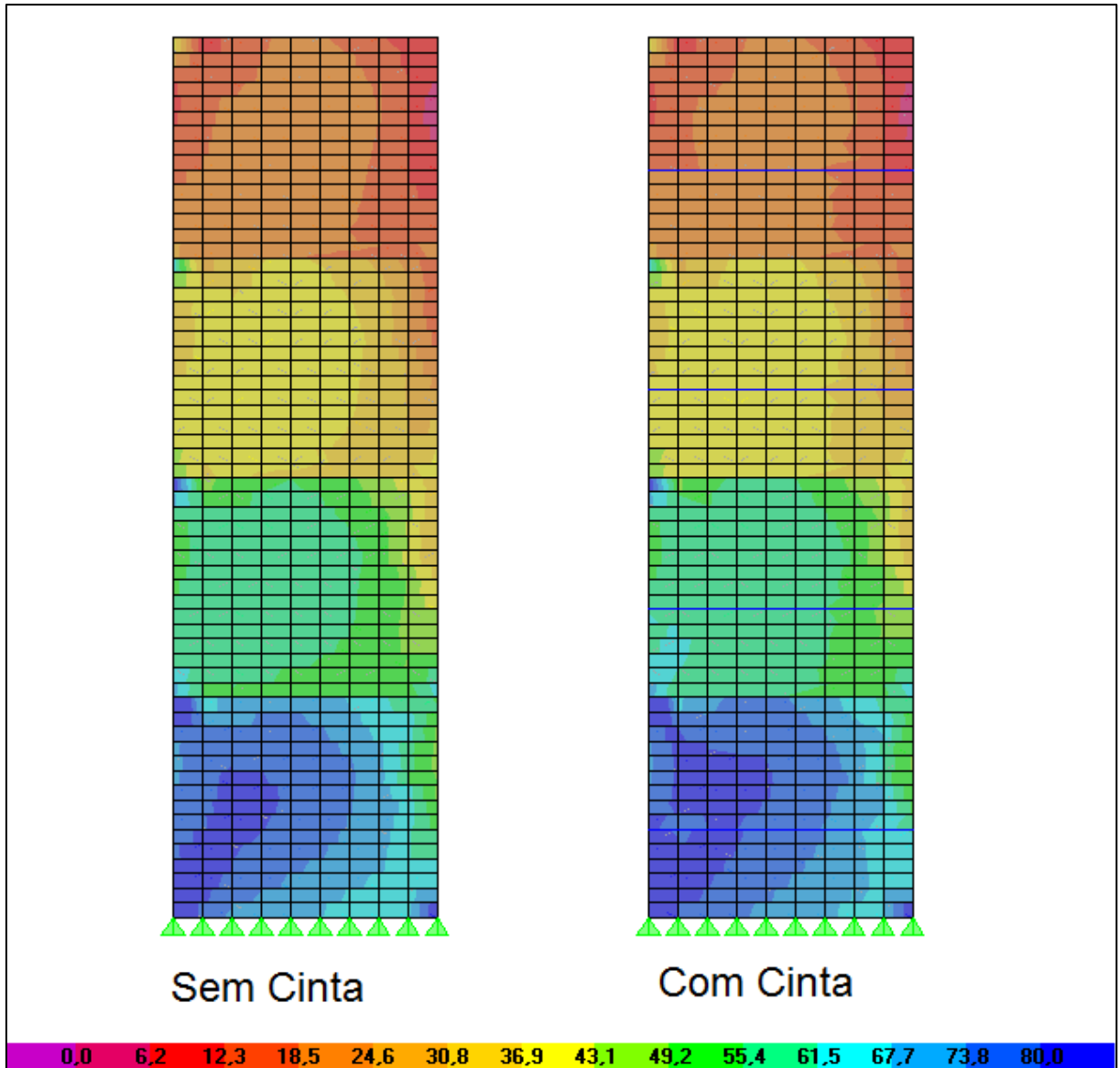
Fonte: Próprio autor

No Gráfico 4 pode ser visto a redução das ações nas paredes mais solicitadas e um aumento nas paredes menos solicitadas. Seguindo um padrão de uniformização de cargas de acordo com a interação entre os grupos adjacentes. O carregamento médio do grupo sem a interação tem valor igual a 59,33 kN/m e considerando a interação a ação média cai para 55,06 kN/m, o que significa uma redução de 7,2%.

Na edificação onde há a presença de cinta de amarração intermediária o carregamento médio calculado sem interação é de 60,53 kN/m e quando se considerou a interação o resultado foi de 58,02 kN/m, sendo uma redução de 4,15%. A parede 26 com cinta de amarração foi a que apresentou a maior diferença entre ações com e sem interação, sendo 65,15 kN/m e 73,27 kN/m, respectivamente.

A Figura 24 mostra as ações distribuídas em kN/m na parede 26, onde é possível observar a intensificação das forças na borda entre a parede 26 e parede 9 com a presença da cinta de amarração.

Figura 24 – Ações na parede 26



Fonte: Próprio autor

4.2 Taxas de interação

Após obtidas todas as ações uniformemente distribuídas dos grupos de paredes, é possível substituir esses dados nas Equações 2, 3 e 4, apresentadas no item 2.3.3, a fim de se encontrar a taxa de interação de cada grupo de paredes.

De acordo com a Equação 4, pode-se simplificar a equação de modo a isolar a taxa de interação a ser calculada.

$$t = 1 - \frac{\text{média do grupo } i \text{ com interação} - \text{média MG sem interação}}{\text{média do grupo } i \text{ sem interação} - \text{média MG sem interação}}$$

A média do macrogrupo sem considerar a interação na edificação sem cinta de amarração foi de 52,96 kN/m, e para o edifício com cinta a média foi de 54,13 kN/m. A ação média uniformemente distribuída do Grupo 1 foi nominada como q1, para o Grupo 2, q2, e assim sucessivamente. Esses dados são apresentados na Tabela 1, onde mostra os resultados da edificação sem cinta de amarração.

Tabela 1 – Taxas de interação entre grupo sem cinta de amarração

	q* (kN/m)	q (kN/m)	qMG (kN/m)	t
G1	47,65	47,84	52,96	-0,0374
G2	40,58	53,21		49,6389
G3	48,42	48,95		-0,1318
G4	55,06	59,33		0,6709

Fonte: Próprio autor

De acordo com Capuzzo Neto (2005), os valores de taxa de interação variam entre 0 e 1 (0% a 100%), sendo assim, os valores obtidos para os grupos 1,2 e 3 não estão na faixa aceitável. O valor de taxa de interação calculado de acordo com as equações 2, 3 e 4 não representam a realidade para carregamentos distribuídos em grupos.

Os valores calculados de taxa de interação entre grupos para a edificação com cinta de amarração estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxas de interação entre grupo com cinta de amarração

	q* (kN/m)	q (kN/m)	qMG (kN/m)	t
G1	48,86	48,95	54,13	-0,0165
G2	43,84	54,41		37,1909
G3	50,72	50,15		0,1436
G4	58,02	60,53		1,3929

Fonte: Próprio autor

Para a edificação com presença de cinta de amarração intermediária as taxas de interação entre os grupos apresentam valores fora do intervalo aceitável nos grupos 1, 2 e 4.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho dedicou-se ao estudo das interações entre grupos de paredes de alvenaria estrutural, buscando verificar a possibilidade de transferência de ações entre paredes portantes. Segundo comparação entre cálculo de reações e dados obtidos através do software SAP2000, é visível a colaboração entre paredes com amarração direta. No entanto, a presença da cinta de amarração não produz relevante efeito na uniformização dos carregamentos das paredes nos grupos analisados.

Quando comparados os valores de carregamentos obtidos para a mesma parede, ao se considerar a interação, ficou evidente a colaboração entre paredes, por meio da redução dos carregamentos médios, indicando uma tendência de uniformização das ações.

Os resultados de taxas de interação entre grupos de paredes encontrados para a edificação não expressam o verdadeiro comportamento dos grupos de paredes, demonstrando o risco de se assumir um único valor de taxa de interação para um pavimento inteiro, o que pode produzir resultados não realistas.

Contudo, através da apresentação de figuras que representam as simulações das paredes onde mostram os esforços máximos, foi possível observar o espalhamento das forças em uma orientação de aproximadamente 45° , ficando mais evidente nas bordas das paredes e abaixo das aberturas.

REFERÊNCIAS

- ALI, S.S. ; SINHA, B.P. ; USMANI, A. (2000). **Solid masonry walls stiffened by returns**. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, 6, Bangalore, India, 11-13 October 2000. Proceedings /ed. B.V.V. Reddy, B.P. Sinha. p. 119 – 127.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961**: Alvenaria estrutural – blocos de concreto – parte 1: projeto. Rio de Janeiro, 2011.
- _____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- CAMACHO, J. S. **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. 1986. 175p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia Curso de Engenharia Civil, São Paulo, USP, 1995.
- CAPUZZO NETO, Valentim. **Estudo teórico e experimental da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais**. 2000. 111P. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2000.
- CAPUZZO NETO, Valentim. **Interação de paredes em alvenaria estrutural cerâmica sob ações verticais**. 2005. 321P. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, USP, 2005.
- HENDRY, A. W.; SINHA, B.P.; DAVIES, S.R. **Design of Masonry Structures**. Londres: CRC Press, 1997.
- KIM, N. H.; SANKAR, B. V. **Introdução à Análise e ao Projeto em Elementos Finitos**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2011.
- LOURENÇO, P. B. **Computational Strategies for Masonry Structures**. 1996. 210p. Tese (Doutorado) – Civil engineering and geosciences, Netherlands, Delft University of Technology, 1996.
- MOHAMAD, Gihad. **Construções em Alvenaria Estrutural: materiais, projeto e desempenho**. São Paulo: Blucher, 2015.
- PELETEIRO, S.C. (2002). **Contribuições à modelagem numérica de alvenaria estrutural**. São Carlos. 143p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

SILVA, F. A. N., LOURENÇO, P. B. and OLIVEIRA, R. A. (2003). **Paredes de alvenaria estrutural não-armadas dotadas de aberturas e submetidas a carregamentos laterais**. Universidade do Minho: Departamento de Engenharia Civil.

SINHA, B. P.; HENDRY, A. W. (1979). **Compressive strength of axially loaded brick walls stiffened along their vertical edges**. In: 5th INTERNATIONAL BRICK MASONRY CONFERENCE, Washington, USA, 05-10 Oct. 1979 Proceedings. Washington, Brick Institute of America, p. 254-261.

STOCKBRIDGE, J.G. (1967). **A study of high-rise load bearing brickwork in Britain**. PHD Thesis, University of Edinburgh, Scotland.

APÊNDICE A

Edificação com cinta de amarração		
GRUPO 1		
PAREDE	nó	F(kN)
4	17256	10,14
	17250	14,60
	17243	19,23
	17236	23,25
	15	14,81
21a	97	8,60
	14143	29,27
	14173	29,10
	56	13,78
21b	56	13,78
	14203	28,33
	14219	27,19
	14235	26,41
	14251	25,71
	14267	25,25
21c	17	13,01
	15	14,81
5	56	13,78
	17503	19,21
6	17	13,01
	255	23,82

GRUPO 2		
PAREDE	nó	F(kN)
5	100	9,31
	55	8,40
6	16692	23,64
	13	12,55
22a	55	8,40
	14009	29,39
	14039	28,73
	14055	28,02
	14071	26,98
	14087	25,77
	13	12,55
22b	13	12,55
	11	12,94
7	11	12,94
	263	16,97
	17133	11,75
	17127	10,45
	17121	6,67
GRUPO 3		
PAREDE	nó	F(kN)
7	17121	6,67
	17116	18,72
	17110	23,51
	17104	25,40
	17098	23,80
	17093	19,87
	17087	16,24
	17081	7,78

GRUPO 4		
PAREDE	nó	F(kN)
7	17081	7,78
	17076	18,14
	17070	21,99
	17064	26,15
	7	16,97
26b	7	16,97
	9	14,08
26a	9	14,08
	13927	28,07
	13911	29,20
	13895	30,39
	13879	31,42
	13863	16,14
	13847	16,50
	13817	17,18
	45	20,45
9	45	20,45
	16504	17,65
	16520	17,30
	53	15,89
24	53	15,89
	88	13,98
10	9	14,08
	251	23,90
	16649	22,57

Edificação sem cinta de amarração

GRUPO 1		
PAREDE	nó	F(kN)
4	17256	8,35
	17250	13,31
	17243	18,28
	17236	22,67
	15	14,85
21a	97	16,93
	14143	28,30
	14173	27,80
	56	13,15
21b	56	13,15
	14203	26,94
	14219	25,82
	14235	25,04
	14251	24,35
	14267	23,99
	17	12,58
21c	17	12,58
	15	14,85
5	56	13,15
	17503	18,40
6	17	12,58
	255	22,70

GRUPO 2		
PAREDE	nó	F(kN)
5	100	8,89
	55	16,46
6	16692	22,52
	13	36,34
22a	55	16,46
	14009	28,35
	14039	27,35
	14055	26,54
	14071	25,56
	14087	24,53
	13	36,34
22b	13	36,34
	11	25,84
7	11	25,84
	263	15,85
	17133	9,72
	17127	8,36
	17121	11,85
GRUPO 3		
PAREDE	nó	F(kN)
7	17121	11,85
	17116	17,94
	17110	23,10
	17104	25,00
	17098	23,22
	17093	18,85
	17087	14,66
	17081	13,76

GRUPO 4		
PAREDE	nó	F(kN)
7	17081	13,76
	17076	16,56
	17070	20,77
	17064	25,41
26b	7	33,89
	9	40,93
26a	9	40,93
	13927	26,76
	13911	27,76
	13895	28,93
	13879	29,94
	13863	30,78
	13847	31,59
	13817	33,33
	45	40,26
9	45	40,26
	16504	34,24
	16520	33,30
	53	30,65
24	53	30,65
	88	13,65
10	9	40,93
	251	22,78
	16649	21,36

APÊNDICE B

Edificação sem cinta de amarração

	Parede	l (m)	Calculado (kN/m)	SAP (kN/m)
GRUPO 1	4	2	37,40	38,73
	21a	1,6	48,66	53,87
	21b	2,8	59,24	54,24
	21c	0,6	49,23	45,71
	5	0,8	38,14	39,45
	6	0,8	41,06	44,09
GRUPO 2	5	0,8	38,14	21,40
	6	0,8	27,37	43,30
	22a	2,8	66,43	53,06
	22b	0,8	56,42	21,20
	7	1,6	48,95	36,69
GRUPO 3	7	2,8	48,95	48,42
GRUPO 4	7	1,6	48,95	50,56
	26b	0,4	40,36	76,47
	26a	3,2	76,04	60,94
	9	1,2	66,45	57,69
	24	0,8	49,52	36,21
	10	1,2	34,39	48,16

Edificação com cinta de amarração

	Parede	l (m)	Calculado (kN/m)	SAP (kN/m)
GRUPO 1	4	2	38,60	41,02
	21a	1,6	49,62	50,49
	21b	2,8	60,18	57,04
	21c	0,6	50,17	46,38
	5	0,8	39,34	41,25
	6	0,8	42,86	46,05
GRUPO 2	5	0,8	39,34	22,15
	6	0,8	28,57	45,24
	22a	2,8	67,63	57,10
	22b	0,8	57,62	31,87
	7	1,6	50,15	36,75
GRUPO 3	7	2,8	50,15	50,72
GRUPO 4	7	1,6	50,15	56,91
	26b	0,4	41,56	77,66
	26a	3,2	77,24	63,58
	9	1,2	67,65	59,43
	24	0,8	50,72	37,35
	10	1,2	35,59	50,46